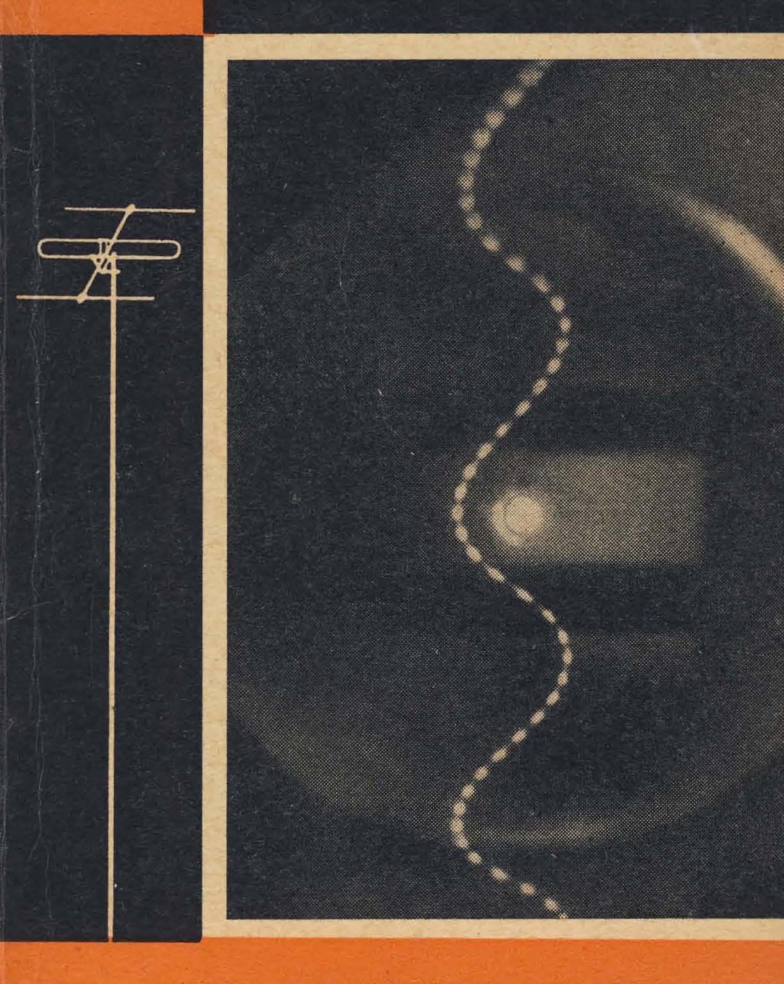
44

DER PRAKTISCHE FUNKAMATEUR



Hagen Jakubaschk

Oszillografentechnik für den Amateur
Teil I: Gerätetechnik

Der praktische Funkamateur · Band 44

Oszillografentechnik für den Amateur

Teil I: Gerätetechnik

HAGEN JAKUBASCHK

Oszillografentechnik für den Amateur

Teil I: Gerätetechnik



DEUTSCHER MILITÄRVERLAG

Redaktionsschluß: 20. November 1967

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Oszillografische Meßverfahren gewinnen auch für den Funkamateur ständig an Bedeutung. Überraschend viele Amateure und Radioklubs verfügen schon heute über Oszillografen, häufig Eigenbau-Geräte.
Dieses äußerst vielseitige und in den letzten Jahren sehr vervollkommnete meßtechnische Verfahren vermag eine ganze Reihe anderer herkömmlicher Meßmethoden zu ersetzen und eröffnet außerdem völlig neue meßtechnische Möglichkeiten. Das Vorhandensein einer oszillografischen Meßausrüstung gestattet auch dem Amateur Messungen – und damit Arbeiten und Bauvorhaben –, die bisher aus Aufwandsgründen scheitern mußten. Ohne Übertreibung kann festgestellt werden, daß mit Hilfe der Oszillografie sämtliche Meßaufgaben elektrischer und auch nichtelektrischer Art in nahezu allen Zweigen der Technik lösbar sind.
Der Oszillograf stellt das universellste Meßmittel dar. Darüber hinaus hat die Oszillografentechnik besondere Bedeutung für die vormilitärische Ausbildung. Innerhalb der Militärtechnik finden derartige Geräte vielfältige Anwendung, wobei nur an die Radartechnik, Richtfunktechnik, Flugnavigation, Fernlenktechnik, das militärische Fernsehen und dergleichen erinnert sei. Fast alle modernen nachrichtentechnischen und elektronischen Verfahren beruhen auf Funktionsprinzipien, die nur auf Grund vorhandener Kenntnis über impulstechnische Vorgänge zu verstehen sind. Es ist also von Vorteil, wenn man sich bereits während der Amateurpraxis die arbeits- und gerätetechnischen Voraussetzungen schafft und sich mit elektronischen Arbeitsverfahren innerhalb des Amateursektors beschäftigt. Leider mangelt es an speziell geeigneter Fachliteratur. Die vorliegenden Broschüren (Teil I und II) sollen das für den Amateur wesentliche praktische Rüstzeug nebst den wichtigsten Arbeitsgrundlagen in komprimierter Form

bringen, wobei das Schwergewicht auf der Praxis liegt und theoretische Erläuterungen auf das Notwendigste beschränkt wurden. Über die Theorie der Oszillografentechnik ist in der Fachliteratur für den, der tiefer in diese Problematik eindringen will, ausreichend Material zu finden (entsprechende Literaturangaben am Anfang der Broschüre). Hier werden vor allem Bauanleitungen für die erforderlichen Zusatzgeräte beschrieben, da solche in der Literatur nur spärlich und verstreut zu finden und oft nicht für erfolgreichen Nachbau geeignet sind. Sämtliche in diesem Band dargestellten Schaltungen (mit Ausnahme der in den Abschnitten 2.1. und 2.9.) wurden im Labor des Verfassers entwickelt und gründlich erprobt. Sie sind so ausgelegt, daß sie den Amateurbelangen entsprechen und sich untereinander günstig kombinieren lassen. Durch schrittweisen Aufbau kann auf diese Weise ein kompletter Oszillografenmeßplatz geschaffen werden, mit dem alle praktisch auftretenden Meßaufgaben durchführbar sind. Hingewiesen sei in diesem Zusammenhang auf die in Heft 18 der Reihe *Meßplatz des Amateurs* veröffentlichte Bauanleitung für einen hochwertigen, für Amateurzwecke besonders geeigneten Oszillografen. In der anschließenden Broschüre *(Oszillografentechnik für den Amateur, Teil II: Praxis der Oszillografie)* werden dann die praktischen Arbeitsverfahren und die Durchführung der verschiedenen Meßaufgaben geschildert.

Die in diesem und im folgenden Band sehr zahlreich wiedergegebenen Oszillogrammfotos wurden im Labor des Verfassers speziell für die beiden Broschüren aufgenommen, da die sachgemäße Auswertung des Oszillogrammbildes das wichtigste bei diesem Meßverfahren ist. Die hierzu erforderliche Erfahrung kann nur in der Praxis erworben werden. Die Einarbeitung wird jedoch durch reichlich vorhandenes Bildmaterial, das man zu Vergleichszwekken bei der Auswertung von Schirmbildern heranzieht, sehr erleichtert. Deshalb zeigen die Oszillogrammbilder allgemeingültige, für die Praxis typische Erscheinungsformen, und ihrer Auswertung wurde relativ breiter Raum gewidmet.

Besonders gedankt sei an dieser Stelle meiner Frau und unermüdlichen Assistentin, die – wie auch bei den früheren Veröffentlichungen – die Bearbeitung des sehr umfangreichen Aufnahmematerials vornahm. Dem Verlag danke ich für die verständnisvolle Zusammenarbeit bei der Herausgabe dieser beiden Hefte.

Brandenburg, im Mai 1963

Hagen Jakubaschk

Vorwort zur 2. Auflage

Gegenüber der 1. Auflage bleibt der Inhalt dieser Broschüre im wesentlichen unverändert. Dafür gibt es mehrere konkrete Gründe: Einmal ist die prinzipielle Technik des Oszillografierens (auch die prinzipielle Gerätetechnik) zumindest für den Amateursektor noch die gleiche. Zwischenzeitliche Weiterentwicklungen betreffen entweder Spezialgebiete oder Spezialgeräte *(Samplingoszillografen* für höchste Frequenzen u. ä.), die für den Amateur uninteressant und meist auch völlig unökonomisch sind. Oder aber es handelt sich um schaltungstechnische Umstellungen, bei denen neue Bauelemente (Transistoren) verwendet werden. Weiterhin würde die Behandlung der Transistortechnik den vorgegebenen Rahmen dieser Broschüre überschreiten. Deshalb wurden noch die Röhrenschaltungen beibehalten.
Zum gleichen Thema wird in absehbarer Zeit ein Buch in der Reihe *Amateurbibliothek* herausgegeben, das inhaltlich neben einer zusammenfassenden und ausführlicheren Darstellung der vorliegenden beiden Teile (Band 44 und 45 dieser Reihe) auch eine Beschreibung weiterentwickelter Geräte sowie Zusatzgeräte enthält.
Dieses Buch geht darüber hinaus auf die Problematik und den Bau transistorisierter Oszillografen und Zusatzgeräte ein.

Da gerade die Anwendung von Halbleitern in der Oszillografentechnik auf dem kommerziellen Sektor schon weitestgehend eingeführt ist, aber für den Amateurbereich noch nicht zur Verfügung steht, wird das genannte Buch für den Amateur eine Ergänzung.
Die vorliegende 2. Auflage dieser Broschüre gibt den derzeit für den Amateursektor aktuellen Stand wieder und soll bis zum Erscheinen des erwähnten Buches dem Amateur eine Hilfe sein.

Nahmitz bei Brandenburg, im Herbst 1967

Hagen Jakubaschk

1. Allgemeines

1.1. Das Funktionsprinzip des Oszillografen

Das wichtigste Organ des Oszillografen (auch Katodenstrahl- oder Elektronenstrahl-Oszillograf) ist die Bildröhre, nach ihrem Funktionsprinzip auch Katodenstrahlröhre, Elektronenstrahlröhre oder nach ihrem Erfinder Braunsche Röhre genannt. Wir wollen im folgenden die allgemeine, kurze Bezeichnung „Bildröhre" beibehalten. Das ist technisch exakt, da auch die unter diesem Begriff bekannten Fernseh-Bildröhren nur eine Spezialform der Elektronenstrahlröhren darstellen.

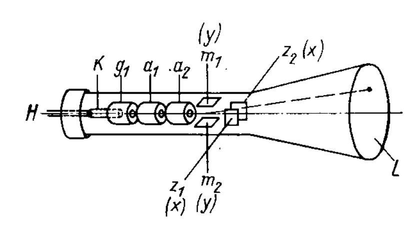


Bild 1 Prinzipieller Aufbau einer Oszillografen-Bildröhre

Bild 1 zeigt den Aufbau einer Oszillografen-Bildröhre in schematischer Darstellung, das Foto (Bild 2) dagegen die äußere Form einer solchen Röhre, hier den Typ B 10 S 1. Das wichtigste äußere Kennzeichen ist der Leuchtschirm L in Bild 1, der als dünne weiße oder gelbliche Schicht auf dem Boden der luftleeren Röhre aufgebracht ist. Der Röhrenboden bildet den einzigen von außen sichtbaren Teil der im Oszillografen eingebauten Bildröhre. Wir werden ihn im folgenden analog zur Fernseh-Bildröhre als „Bildschirm" bezeichnen.

Wie jede Elektronenröhre, hat auch die Bildröhre eine Katode K, die durch einen Heizfaden (Anschluß H im Bild 1)

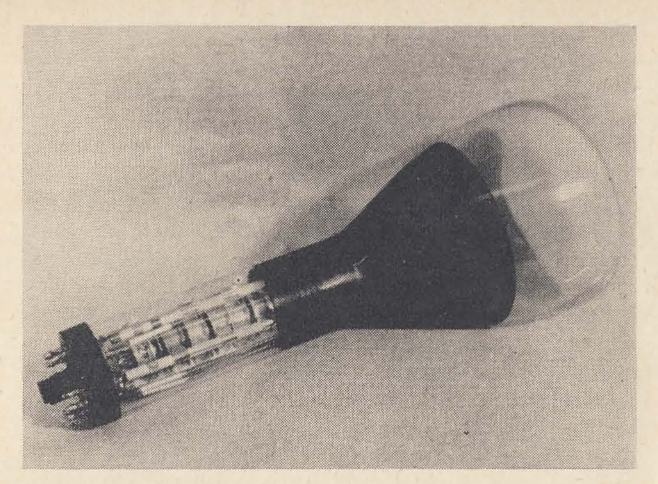


Bild 2 Ansicht der Oszillografen-Bildröhre B 10 S 1

zum Glühen gebracht wird. Jedoch ist die elektronenaussendende Schicht im Gegensatz zu den Katoden üblicher Radioröhren fast punktförmig. Die Katode wird umgeben vom Steuergitter (Gitter 1) g 1. Wieder im Gegensatz zu üblichen Radioröhren ist das Gitter ein Metallzylinder, der die Katode völlig umgibt und nur an der dem emittierenden Katodenpunkt gegenüberliegenden Stelle ein kleines Loch aufweist, durch das die Elektronen von der Katode austreten können. Wegen dieser Form und nach seinem Erfinder wird das Gitter als *Wehnelt-Zylinder* bezeichnet. Auch die weiteren Elektroden (Anoden a 1 und a 2, hinzu kommt bei verschiedenen Röhrentypen noch ein zweites Gitter g 2, das im Bild 1 fortgelassen wurde) haben zylindrische Form und ein kleines Mittelloch für den Elektronenstrahl, seltener die Form von Metallscheiben mit Mittelloch. Im Bild 2 sind diese Elektrodenzylinder im Röhrenhals gut erkennbar.
Aus der Katode tritt ein Elektronenstrahl aus, der die einzelnen Elektroden durchfliegt und dann auf den Leucht-

schirm L auftrifft. Die Leuchtmasse wird durch den auftreffenden Strahl zum Leuchten angeregt, der auftreffende Elektronenstrahl ist also zunächst als leuchtender Punkt abgebildet. Vom Leuchtschirm gelangen die Elektronen auf Grund eines physikalischen Vorgangs, um den wir uns hier nicht näher kümmern wollen (u. a. Bildung von Sekundärelektronen), zu einer der Anoden zurück.
Das Steuergitter g 1 beeinflußt die Menge der aus der Katode austretenden Elektronen, die Elektronenstrahldichte also. Es hat eine negative Vorspannung gegen die Katode. Je höher die negative Vorspannung, um so weniger Elektronen können die Öffnung des Steuergitters passieren, um so geringer ist damit die Leuchtkraft des Lichtpunktes auf dem Leuchtschirm L. Mit dem Steuergitter ist also eine „Helligkeitsregelung" möglich.
Wäre nur das Steuergitter vorhanden, so würden sich die austretenden Elektronen bald zerstreuen, der Strahldurchmesser würde größer werden, und auf dem Leuchtschirm käme nur ein großer, verwaschener Lichtfleck zustande, mit dem man nichts anfangen könnte. Deshalb bilden die Anoden a 1 und a 2 sowie das eventuell noch vorhandene zweite Gitter ein elektronenoptisches System, das wir grob angenähert mit einem optischen Linsensystem vergleichen können. Diese Elektroden haben verschiedene positive Spannungen, so daß sich zwischen ihnen ein elektrostatisches Kraftfeld bildet, dessen Verlauf gewisse Parallelen zu der Form optischer Linsen hat. Der Elektronenstrahl wird durch dieses Kraftlinienfeld gebündelt, das heißt zu einem möglichst dünnen Strahl zusammengefaßt. Damit erreicht man, daß sich alle Elektronen auf einer fast punktförmigen Stelle des Leuchtschirms treffen und dort der erwünschte möglichst feine Lichtpunkt entsteht. Er steht zunächst unverändert in Schirmmitte. – Die optische Parallele zu diesem Vorgang ist die Konzentration eines Lichtstrahlenbündels in einem Brennpunkt. Der Brennpunkt des Elektronenstrahlbündels muß also mit der Leuchtschirmebene zusammenfallen. Das erfordert im Falle des Lichtstrahls eine ganz bestimmte „Brennweite" der zur Bündelung be-

nutzten Linse. Gleiches gilt für die „Elektronenlinsen" in der Bildröhre. Ihre Brennweite kann verändert werden, indem man das Verhältnis der Elektrodenspannungen zueinander ändert. Praktisch wird dazu eine der Elektrodenspannungen, meist die der ersten Anode a 1, regelbar gemacht, während die anderen Spannungen konstant bleiben. Durch Regelung dieser Spannung kann daher eine „Brennweitenänderung" und damit Änderung des Lichtfleckdurchmessers auf dem Schirm erreicht werden. Das ermöglicht eine „Schärferegelung" des Strahles und damit des Schirmbilds.

Wir fassen zusammen: Eine Helligkeitsregelung wird durch Verändern der Spannung von g 1, eine Schärferegelung durch Ändern der Spannung von a 1 möglich. Beide Einstellungen beeinflussen sich meist etwas gegenseitig (vom Röhrentyp und von den Betriebsbedingungen abhängig).

Zur Verdeutlichung hier noch eine größenordnungsmäßige Angabe der Spannungswerte für die einzelnen Elektroden. Sie schwanken je nach Röhrentyp in beträchtlichen Grenzen und müssen ziemlich genau eingehalten werden, wenn ein brauchbares Schirmbild zustande kommen soll.

Die Katodenheizung liegt meist bei 3 bis 7 Volt, gewöhnlich 4 V oder 6,3 V. Die Heizleistung hat die Größenordnung einer üblichen Rundfunkröhre. Die Spannung am g 1 be-

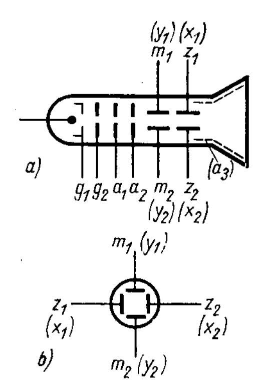


Bild 3
Symboldarstellung (Schaltzeichen) der Oszillografenröhre a) Gesamtdarstellung, b) vereinfachte Darstellung, die benutzt wird, wenn lediglich die Strahlablenkung darzustellen ist

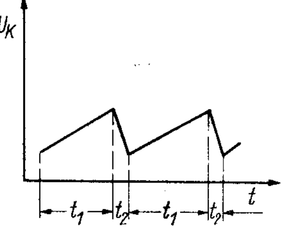
trägt je nach Röhrentyp und gewünschter Helligkeit 0 bis −100 V (meist etwa −70 V) und ist immer regelbar. Bei der maximalen Gittervorspannung wird der Strahl völlig gesperrt, der Leuchtschirm ist dann dunkel. Die Spannung an der Anode a 1 (Schärferegelung) liegt bei +300 bis +600 V, der Anode a 2 bei 1 bis 2 kV. Das Potential etwaiger Anoden oder Gitter liegt meist etwas über dem der Schärferegelung. Bei manchen, für den Amateur weniger in Frage kommenden Bildröhren ist noch eine „Nachbeschleunigungsanode" a 3 (im Bild 3a angedeutet) im konischen Teil der Röhre vorhanden, mit der der Strahl zwecks größerer Helligkeit nach der Ablenkung nochmals beschleunigt werden kann. Deren Spannung liegt dann meist bei 3 bis 5 kV. Üblicherweise ist im Röhrenkolben an dieser Stelle ein auf die Innenwand aufgebrachter Graphitbelag vorhanden (im Bild 2 als schwarzer Belag erkennbar), der mit Anode a 2 in Verbindung steht und die vom Bildschirm rückkehrenden Sekundärelektronen aufnimmt. Im Bild 3a wäre der mit a 3 gekennzeichnete Innenbelag dann im Röhrenkolben mit a 2 verbunden.
Bevor wir die Strahlablenkung betrachten, sollen die Leuchtschirmeigenschaften noch kurz erwähnt werden, obwohl sie in der Amateurpraxis keine allzugroße Bedeutung haben. Wir unterscheiden verschiedene Nachleuchtzeiten und verschiedene Leuchtfarben des Leuchtschirms. Eine vom Elektronenstrahl getroffene Schirmstelle leuchtet beim Ausbleiben der Elektronen noch gewisse Zeit nach. Je nach Verwendungszweck gibt es kurz, mittel, lang und sehr lang nachleuchtende Schirme. Letztere werden besonders zur Darstellung langsam ablaufender Vorgänge benutzt, um das gesamte Schirmbild betrachten zu können, obwohl es vom Strahl in so großen Abständen geschrieben wird, daß das Auge das Wandern des Leuchtstrahls gut verfolgen kann (Radargeräte als Beispiel). Ihre Leuchtfarbe ist meist gelb oder orange. Extrem kurz leuchtende Schirme (zur Darstellung nichtperiodischer, sehr schnell ablaufender Vorgänge) werden oft zur fotografischen Registrierung benutzt und leuchten bläulich. Die üblichen Bildröhren haben mittlere

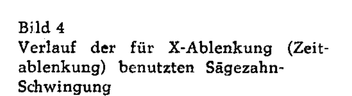
Nachleuchtzeiten (Größenordnung $^1/_{100}$ bis $^1/_{1000}$ Sekunde) und grüne Leuchtfarbe. Diese Leuchtschirmart ist die universellste und kommt für den Amateur allein in Betracht. Alle üblichen Röhren weisen sie auf. Die Hersteller-Röhrendaten geben darüber nähere Auskunft.

Um einen Bewegungsvorgang darstellen zu können, muß der Leuchtpunkt ablenkbar sein. Elektronen können in ihrer Bahn entweder auf magnetischem Wege oder elektrostatisch abgelenkt werden.

Während das erste Prinzip beispielsweise beim Fernsehgerät und in der Radartechnik Anwendung findet, wird für übliche Oszillografen ausschließlich die elektrostatische Ablenkung angewendet. Die Bildröhre enthält zu diesem Zweck 2 Ablenkplattenpaare m 1/m 2 und z 1/z 2 (Bild 1). Legt man an die m-Platten eine Spannung an, so wird der Strahl je nach deren Polarität nach oben oder unten abgelenkt. Wieviel, hängt von der Höhe der angelegten Spannung ab. Ist diese eine Wechselspannung, so wandert der Leuchtpunkt im Rhythmus der Spannung auf und nieder. Wenn die Frequenz der Wechselspannung hoch genug ist, wird der Leuchtpunkt durch die Trägheit des Auges scheinbar zu einem Strich. Gleiches gilt für die Platten z. Mit ihnen wird der Strahl waagerecht abgelenkt. Der Strahl wandert dabei immer zur positiven Platte hin, da Elektronen negativ sind und ungleiche Pole sich anziehen. Legen wir eine Gleichspannung an die m-Platten mit Plus an m 1, eine andere Gleichspannung an die z-Platten mit Plus an z 2, so wird der Leuchtpunkt sowohl nach oben als auch nach rechts wandern und dann also rechts oben in der Schirmfläche stehen. Eine an die z-Platten angelegte Wechselspannung bewirkt einen waagerechten Strich. Entsprechend der Koordinatendarstellung in der Geometrie bezeichnet man den so geschriebenen waagerechten Strich als die X-Achse, den senkrechten Strich als die Y-Achse. Die Platten werden sinngemäß dementsprechend oft X-Platten und Y-Platten genannt. In der Praxis ist jedoch die Bezeichnung „Meßplatten" (m) und „Zeitplatten" (z) sinnfälliger und verbreiteter. Sie erklärt sich folgendermaßen:

Wenn wir einen elektrischen Schwingungsvorgang abbilden wollen, müssen wir dafür sorgen, daß der Leuchtpunkt gleichmäßig von links nach rechts wandert, und zwar in einem festgelegten, konstant bleibenden Zeitraum. Rechts angekommen, „springt" der Strahl sofort nach links zurück und beginnt die „X-Achse" erneut zu schreiben. Wir erhalten dann – wenn der Strahl schnell genug wandert – eine leuchtende X-Achs-Linie. An die Meßplatten m legen wir nun eine sinusförmige Wechselspannung. Wie beschrieben, lenkt sie den Strahl im Rhythmus ihres zeitlichen Verlaufs vertikal ab. Da er gleichzeitig durch die an den „Zeitplatten" z liegende Spannung gleichmäßig horizontal wandert, wird als Endergebnis das Originalbild der an den Meßplatten liegenden Sinusspannung, die Sinuskurve, geschrieben. Hat die Spannung einen anderen Verlauf, so bildet sich dieser entsprechend ab. Darin besteht das Prinzip des Oszillografen.
Jetzt werden uns auch die Bezeichnungen der Ablenkplatten verständlich sein. Während an die Y-Platten die darzustellende Spannung, die Meßspannung, angelegt wird, bekommen die X-Platten üblicherweise (von besonderen, später erläuterten Verfahren abgesehen) eine zeitproportionale Spannung, den Zeitmaßstab. Diese Spannung nennt man daher auch „Zeitablenkspannung", die X-Platten demgemäß auch „Zeitplatten". Wenn wir uns einmal die zeichnerische Darstellung einer Wechselspannungskurve und ihr Zustandekommen ansehen, werden uns diese Zusammenhänge klar sein. Nichts anderes geschieht hier auf dem Bildschirm.




Bild 4
Verlauf der für X-Ablenkung (Zeitablenkung) benutzten Sägezahn-Schwingung

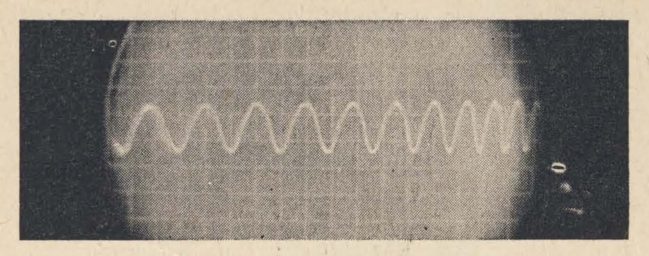


Bild 5 Abbildung einer Sinusschwingung bei nichtlinearem Verlauf der Kippspannung

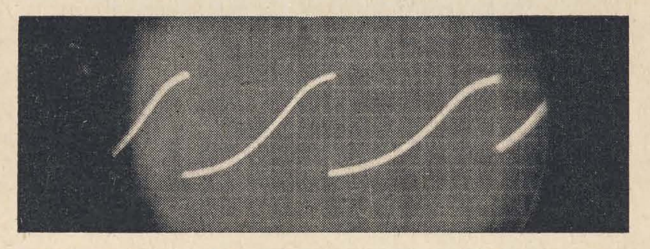


Bild 6 Nichtlinear verlaufende Kippspannung des Oszillogramms nach Bild 5

Die bisherige Erklärung besagt, wie diese „Zeitablenkspannung" beschaffen sein muß. Es handelt sich um eine „Sägezahnschwingung", nach ihrer Kurvenform so benannt. Bild 4 zeigt ihren Verlauf. U ist die an den Zeitplatten stehende Ablenkspannung (wegen der Art ihrer Erzeugung auch „Kippspannung" genannt). Im Zeitraum t 1 steigt sie gleichmäßig an, der Strahl wird dabei von links nach rechts geführt. Ist er rechts angekommen, so springt die Spannung auf den Ausgangswert zurück, was im Zeitraum t 2 geschieht. Diese Zeit wird „Strahl-Rücklaufzeit" genannt. Sie soll im Verhältnis zu t 1 möglichst kurz sein, weil diese Zeit der Schwingungsdarstellung verlorengeht. Die „Rückflanke" unseres Sägezahnimpulses muß also entsprechend steil sein. Wichtig ist jedoch auch die Vorderflanke. Wenn sie nicht ganz gerade ist, also nicht linear ansteigt, kommt es zu Kurvenbild-Verfälschungen. Verliefe dieser Anstieg

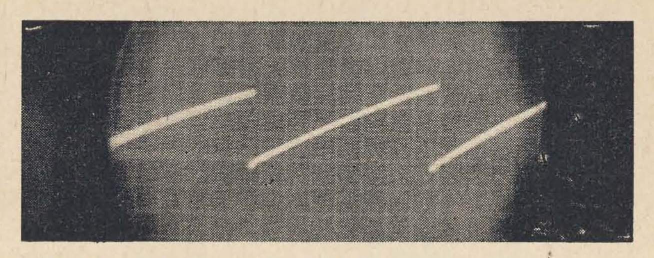


Bild 7 Einwandfrei linear verlaufende Kippspannung

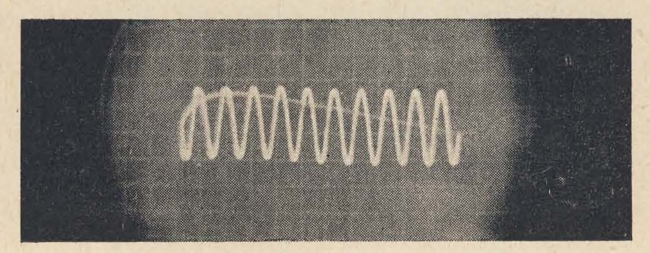


Bild 8 Abbildung der Sinusschwingung bei einwandfreier Kippschwingung nach Bild 7. Der Strahl-Rücklauf ist erkennbar

beispielsweise nach oben hin flacher, dann wanderte der Leuchtpunkt am rechten Schirmende langsamer als links am Kurvenanfang, und es käme zu einer scheinbaren Zusammendrückung des Schirmbilds, die aber nicht dem tatsächlichen Verlauf der Meßspannung entspricht.
Bild 5 zeigt diese Fehlererscheinung. Als Meßspannung wurde hier eine einfache Sinusspannung (Netzwechselspannung) angelegt. Die Kippspannung verläuft nicht linear, daher ist der Kurvenzug rechts deutlich zusammengedrückt. Bild 6 stellt den Verlauf der Kippspannung entsprechend Bild 4 und Bild 5 dar. Man kann deutlich die nichtlineare Vorderflanke erkennen. Mit einer derartig verformten Sägezahnspannung ist keine befriedigende Abbildung mehr möglich. Eine einwandfreie Kippschwingung hat das Aussehen nach Bild 7. Der Strahlrücklauf (Zeit t 2 im Bild 4) ist so kurz, daß die Impuls-Rückflanke praktisch senkrecht

steht (im Bild 4 wurde ihre Schräge zum besseren Verständnis übertrieben dargestellt). Da der Elektronenstrahl diesen Weg sehr schnell zurücklegt und den Leuchtschirm daher wesentlich schwächer zum Leuchten anregt als in dem bedeutend langsamer verlaufenden ansteigenden Kurventeil, ist der Rücklauf nach t 2 im Bild 4 in den Bilder 6 und 7 nicht erkennbar.
Bild 8 zeigt die gleiche Sinusspannung nach Bild 5, diesmal mit einer einwandfrei verlaufenden Zeitablenkspannung nach Bild 7. Die einzelnen Kurvenabstände sind jetzt gleich. Es kommt also darauf an, die Zeitablenkspannung oder Kippspannung so zu erzeugen, daß sie einen linearen Hinlauf und möglichst steile Rückflanke aufweist. Im Bild 8 erkennt man noch eine andere interessante Erscheinung. Selbstverständlich regt der Strahl auch während des Rücklaufs den Leuchtschirm an. Da der Rücklauf sehr rasch erfolgt, kommt die Rücklauf-Leuchtspur meist wesentlich schwächer als das gewünschte Oszillogramm selbst, ja manchmal sogar nahezu unsichtbar. Im Bild 8 ist der Strahlrücklauf jedoch noch gut erkennbar. Etwa in Mitte (Nulldurchgang) der letzten Sinushalbwelle springt der Strahl zum Bildanfang zurück und beginnt die Kurve erneut zu schreiben. Der Rücklauf ist dabei so schnell erfolgt, daß der Bildanfang praktisch an derselben Kurvenstelle beginnt wie die letzte dargestellte Schwingung.
Wie wird nun eine solche Sägezahnspannung erzeugt?
In der Praxis sind dafür mehrere, zum Teil sehr komplizierte Schaltungen üblich, auf deren Theorie nicht im einzelnen eingegangen werden kann. Während ältere oder einfache Geräte oft mit Gasentladungsröhren (Thyratrons) arbeiten, benutzen moderne Werkstatt-Oszillografen meist Schaltungen mit herkömmlichen Vakuumröhren.

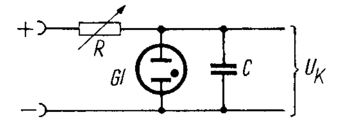


Bild 9
Prinzipschaltung einer einfachen Glimmlampen-Kippschaltung zur Erzeugung einer Sägezahnspannung

Prinzipiell kann eine Kippschwingung nach Bild 9 erzeugt werden. Über einen Widerstand R wird der Kondensator C aufgeladen. Im Einschaltmoment ist die Spannung an C Null und beginnt mit fortschreitender Kondensatorladung anzusteigen. Hat sie den Wert der Zündspannung für die Glimmlampe Gl erreicht, so zündet Gl. Über die Glimmlampe, deren Widerstand im gezündeten Zustand sehr niedrig ist, wird C nun schlagartig entladen, bis Gl verlischt. Danach beginnt die allmähliche Aufladung von neuem. Parallel zum Kondensator kann die Kippspannung U_k entnommen werden. Sie verläuft dann etwa analog Bild 4. Die Aufladung des Kondensators entspricht dem Zeitraum t 1, die Entladung über Gl dem Zeitraum t 2. Ein Mangel dieser Schaltung ist unter anderem, daß die Aufladung des Kondensators nicht linear erfolgt. Mit fortschreitendem Ladezustand wird die an R verbleibende Spannung sowie der durch R fließende Ladestrom geringer, und die Aufladung geht immer langsamer vonstatten. Praktisch würde der nach Bild 9 erhaltene Sägezahn bei U_k den Verlauf ähnlich Bild 6 haben. Um einen Verlauf nach Bild 7 zu erreichen, sind zusätzliche Schaltungsmaßnahmen („mitlaufende Ladespannung") erforderlich, die dafür sorgen, daß die Spannung an R trotz der an C steigenden Spannung konstant bleibt.
Eine Frequenzregelung der Kippspannung ist im Bild 9 durch Veränderung von R möglich. Zusätzlich kann der Wert von C noch in Stufen umgeschaltet werden, so daß mit C eine Frequenz-Grobeinstellung, mit R die Feineinstellung möglich ist. Diese Regler „Kippfrequenz grob und fein" sind an jedem Oszillografen vorhanden. Um ein stehendes Kurvenbild zu erreichen, muß jeder Strahlhinlauf die Kurve der Meßspannung am gleichen Punkt zu schreiben beginnen wie der vorhergehende. Eine einfache Überlegung zeigt, daß dazu die Kippfrequenz entweder die gleiche Frequenz wie die Meßspannung haben muß – dann wird eine Periode der Meßspannung abgebildet – oder die halbe Frequenz – es werden dann 2 Meßspannungsperioden abgebildet – oder einen ganzzahligen Bruchteil davon.

Im Bild 8 betrug die Kippfrequenz $^1/_{10}$ der Meßfrequenz, von der demzufolge 10 Perioden abgebildet sind. Ist das Verhältnis nicht ganzzahlig, so setzt jeder neue Kippspannungs-Hinlauf an einer anderen Stelle der Meßspannung ein. Die abgebildete Kurve „wandert" dann mehr oder weniger schnell über den Schirm, und eine genaue Betrachtung ist unmöglich. Daher kann man die Kippfrequenz in weiten Grenzen regeln, um sie der Meßfrequenz anzugleichen. Näheres dazu im nächsten Kapitel.
Abschließend noch einiges zur Bildröhre selbst. Außer den bisher genannten Eigenschaften sind noch einige weitere, die Ablenkplatten betreffende Kenndaten von Bedeutung. Uns interessiert vor allem die Ablenkempfindlichkeit. Der Strahl muß um einen gewissen Mindestbetrag abgelenkt werden, damit ein erkennbares Bild von ausreichender Größe entsteht. Die hierfür erforderliche Spannung an den Platten wird in Volt je Millimeter Strahlablenkung angegeben und liegt selten über 0,3 mm/V. Für ein einwandfrei zu erkennendes Bild sind aber wenigstens 10 mm Auslenkung erforderlich, für die Zeitablenkung noch mehr. Den Platten muß also eine Ablenkspannung in beträchtlicher Größe zugeführt werden. Meist steht die Meßspannung nicht in dieser Größe zur Verfügung, deshalb wird zwischen Meßspannung und Meßplatten noch ein im Oszillografen fast immer eingebauter „Meßverstärker" geschaltet. Dieser verstärkt die Meßspannung so weit, daß der Bildschirm bereits mit Eingangsspannungen von 1 bis 100 mV in ausreichender Höhe ausgeschrieben werden kann.
An diesen Meßverstärker sind besonders hohe Anforderungen zu stellen, da er jede beliebige Kurvenform unverfälscht übertragen muß. Es wird sich also immer um Breitband-Verstärker handeln, deren Frequenzbereich für gute Werkstatt-Oszillografen von wenigen Hertz bis etwa 3 MHz reicht. Durch diesen Meßverstärker sind der große Aufwand und der hohe Preis hochwertiger moderner Oszillografen vorwiegend begründet. Aus den Eigenschaften des Meßverstärkers ergibt sich weitgehend auch der Anwendungsbereich des ganzen Geräts. Für Amateurzwecke

sollte der Bereich von wenigen Hertz bis etwa 3 MHz als bester Kompromiß zwischen Aufwand und Verwendungsmöglichkeiten angesehen werden. Hochwertige Laboroszillografen haben Frequenzbereiche von einigen hundert Megahertz und höher sowie häufig Gleichspannungsverstärker, so daß auch die Frequenz Null, d. h. eine Gleichspannung, verstärkt und angezeigt werden kann. Beides lohnt für den Amateur aufwandsmäßig bei weitem nicht. Näher auf die sehr umfangreiche Problematik von Breitband-Meßverstärkern einzugehen, ist im Rahmen dieser Darstellung nicht möglich.
Für die Zeitablenkung ergeben sich ähnliche Probleme. Die Kippspannung muß so groß sein, daß eine Strahlauslenkung möglichst über die ganze Bildschirmbreite erfolgen kann. Der Kippspannungsgenerator – der fast immer im Oszillografen eingebaut ist – muß also eine beträchtliche Spannung abgeben. Nach Bild 9 würde das nicht gelingen, denn U_K ist hier nur gleich der Differenz zwischen Zünd- und Löschspannung der Glimmlampe, liegt also nur bei etwa 20 bis 40 V. Wie hoch Meßspannung und Kippspannung sein müssen, ist aus den Datenangaben für die Ablenkempfindlichkeit der jeweiligen Bildröhre ersichtlich. Sie ist für beide Plattenpaare verschieden groß. Eine gleiche Spannung an beiden Plattenpaaren erzeugt zwar auch annähernd die gleiche Winkelauslenkung des Strahles, aber da (konstruktiv bedingt) sich ein Plattenpaar näher am Schirm befindet als das andere (siehe Bild 1), ist für dieses Plattenpaar der Betrag der Strahlauslenkung auf dem Schirm trotz gleichen Ablenkwinkels geringer. Man benutzt deshalb auch die schirmnäheren Platten stets als Zeitplatten, da die Erzeugung einer entsprechend hohen Spannung im Kippgenerator relativ leichter ist als eine höhere Meßverstärkung. Die Platten mit der höheren Ablenkempfindlichkeit werden deshalb als Meßplatten benutzt, um noch möglichst geringe Meßspannungen darstellen zu können. Sofern es die Höhe der Meßspannung erlaubt, kann sie auch ohne Meßverstärker direkt an die Ablenkplatten m 1 und m 2 angelegt werden. Es wird also praktisch be-

lastungsfrei gemessen, da ja zwischen den Meßplatten kein Strom fließen kann. Dieser Vorteil wird von keinem anderen für den Praktiker in Betracht kommenden Meßmittel erreicht. Die Abbildung sehr hoher Frequenzen ist auch dann eventuell noch möglich, da man die Kapazität der Meßplatten gegeneinander geringhalten kann. Beide Vorteile gehen durch die Notwendigkeit eines Meßverstärkers in gewissem Grade verloren. Der Verlust hängt von den Übertragungseigenschaften des Meßverstärkers ab. Deshalb ist bei vielen Oszillografen an den Ablenkplatten zusätzlich ein direkter Anschluß für die Meßspannung vorhanden. In der Amateurpraxis wird diese Möglichkeit erfahrungsgemäß nur selten genutzt. Trotzdem sollte man diesen zusätzlichen Anschluß vorsehen.
Während Bild 1 schematisch den Innenaufbau der Bildröhre zeigt, gibt Bild 3a das Schaltsymbol der Röhre an. Abweichend von der tatsächlichen Lage werden Meß- und Zeitplatten also in einer Ebene dargestellt. Die schirmnäheren Platten sind dann stets die Zeitplatten. Dieses Röhrensymbol wird immer dann benutzt, wenn alle Röhrenfunktionen dargestellt werden sollen, also zum Beispiel in Schaltbildern von Oszillografen. Für die Anwendung haben aber die Anoden im allgemeinen nur Hilfsfunktionen. Man beschränkt sich dann bei Übersichtsskizzen, Darstellungen von Meßschaltungen usw. nur auf Skizzierung der Ablenkplatten nach Bild 3b, das die wahre Lage sowie Funktion der Platten kennzeichnet und der Sicht auf den Bildschirm der Röhre entspricht.

1.2. Prinzipieller Geräteaufbau des Oszillografen

Im vorigen Abschnitt haben wir im Zusammenhang mit der Bildröhre bereits einige für das Gesamtgerät erforderliche Baugruppen erwähnt. Es sind dies im wesentlichen außer der Bildröhre selbst: das Kippspannungsgerät, der Meßverstärker, der Netzteil.
Zum Netzteil ist nur wenig zu sagen. Er hat wie in jedem elektronischen Gerät die Aufgabe, für die anderen Bau-

gruppen die erforderlichen Spannungen und Ströme bereitzustellen. Beim Oszillografen ist der Netzteil allerdings relativ kompliziert, was sich aus der Vielzahl der hier benötigten Einzelspannungen allein schon für die Bildröhre ergibt. Meist sind daher neben einem speziellen Netztrafo mehrere Netzgleichrichter und Siebketten vorhanden. Die Betriebsspannung für die Bildröhre ist fast immer plusseitig geerdet, das heißt, die Anode a 2 liegt auf Massepotential, während die Katode die volle Anodenspannung negativ gegen Masse führt. Andernfalls könnte es zu Verzerrungen des Schirmbilds kommen, wenn diesem andere, an Masse liegende Gegenstände oder eine Hand angenähert würden. Sein Potential wird deshalb ebenfalls an Masse gelegt.

Bild 10 zeigt das Blockschaltbild eines Oszillografen. Zum besseren Verständnis wurde hier im Gegensatz zum soeben Gesagten die Katode an Masse liegend angenommen. Die Funktion des Schärfe- und des Helligkeitsreglers ist bereits erklärt worden. Dem Gitter 1 kann außerdem noch von außen über die Buchsen „Hellsteuerung" eine Wechselspannung zugeführt werden, um den Strahl in seiner Helligkeit von außen her zu modulieren: eine – wie wir später sehen werden – für viele Messungen nützliche Möglichkeit. Der „Y-Eingang" ist der Eingang für die Meßspannung. Mit dem Regler „Y-Verstärkung" kann die Höhe des Kurvenbilds je nach Anforderung und Eingangsspannung eingestellt werden.

Der Meßverstärker sorgt bereits bei geringen Eingangsspannungen für eine ausreichende Strahlablenkung. Sein Ausgang führt demgemäß zu den Meßplatten m.

Es wird angenommen, daß eine sogenannte unsymmetrische Ablenkung stattfindet, eine der Platten wurde also geerdet. Dies ist nicht bei allen Röhren zulässig. Es kann leicht zu sogenannten Trapezfehlern in der Ablenkung führen, das heißt, der Kurvenzug kommt dann auf einer Bildschirmseite höher als auf der anderen. Tritt dieser Fehler merklich auf, so führt diese Verfälschung des Oszillogramms leicht zu groben Meßfehlern. Gleiches gilt für

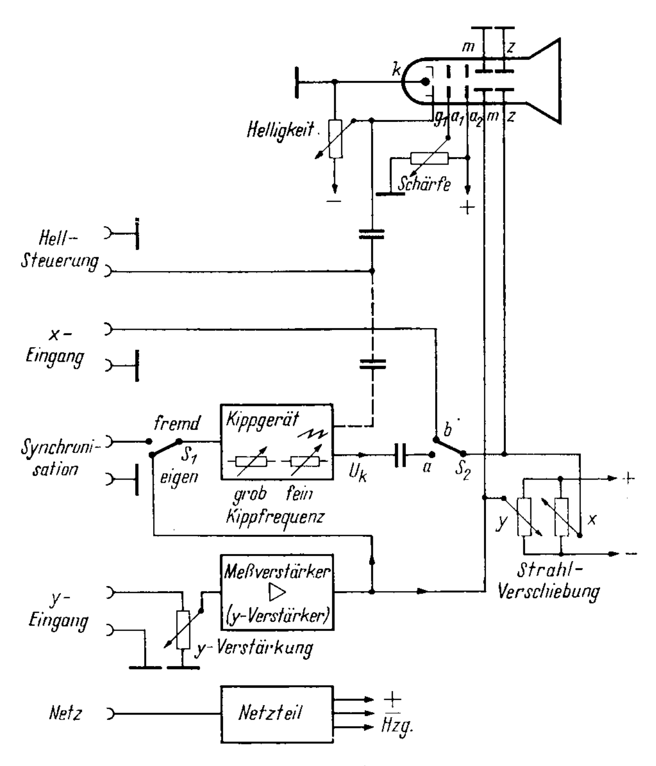


Bild 10 Blockschaltbild eines Oszillografen

die Zeitplatten. Dort kann ein Trapezfehler ähnliche Erscheinungen hervorrufen, wie sie bei Bild 4 bis 8 schon erwähnt wurden (nichtlineare Zeitachse!). Im allgemeinen ist daher für jede Bildröhrentype die vom Hersteller vorgeschriebene Art der Plattenaussteuerung zu benutzen, die den Röhrendaten entnommen wird. Neben der im Bild 10 gezeigten unsymmetrischen Aussteuerung ist für hochwertige Oszillografen meist die symmetrische Aussteuerung üblich. Beide Platten haben dann gleiches Potential gegen Masse. Meßverstärkerausgang und Ausgang des Kipp-

geräts müssen in Gegentaktschaltung (vergleichbar mit den Gegentakt-Endstufen der NF-Verstärker) aufgebaut sein.
Die Ablenkplatten z erhalten ihre Spannung über Schalter S 2 entweder vom Kippgerät (Stellung a), das einen Sägezahngenerator mit Frequenz-Grob- und -Feinregelung darstellt. Über Stellung b des Schalters S 2 kann den Zeitplatten auch eine beliebige Ablenkspannung über den „X-Eingang" von außen zugeführt werden, was für bestimmte Messungen erforderlich ist. Diese Möglichkeit wird immer dann gebraucht, wenn die Abhängigkeit der Y-Spannung nicht von der Zeit, sondern von einer zweiten elektrischen Größe darzustellen ist, beispielsweise bei Frequenz- und Phasenvergleichen.
Im Teil II werden mehrere derartige Meßverfahren gezeigt. Hochwertige Oszillografen haben auch für den X-Eingang einen zweiten Meßverstärker, da sonst dort wieder das Problem der hohen notwendigen Eingangsspannung auftritt. Dieser „X-Verstärker" muß nicht unbedingt so hochwertige Übertragungseigenschaften aufweisen wie der Y-Verstärker. Durch sinnvolle Kompromisse kann sein Aufwand daher etwas geringer gehalten werden.
Im Bild 10 sind weiter 2 Regler für die „Strahlverschiebung Y und X" erkennbar. Über sie erhalten die Ablenkplatten eine konstante Gleichspannung als Vorspannung. In Regler-Mittelstellung ist diese, bezogen auf die an Masse liegende Platte, Null, der Leuchtpunkt steht daher in der Schirmmitte. Mit dem zugehörigen Regler kann er jetzt entweder in der X-Achse oder der Y-Achse beidseitig verschoben werden, das heißt, wir können das dargestellte Schirmbild seitlich und in der Höhe verschieben. Diese Möglichkeit ist praktisch, wenn unsymmetrisch verlaufende Kurven betrachtet werden, zum Beispiel eine Folge positiver Impulse, die nur die obere Schirmhälfte einnimmt. Man kann dann die Nullinie – die entsteht, wenn das Kippgerät läuft, dem Y-Eingang aber keine Spannung zugeführt wird – nach unten versetzen und für den positiven Kurventeil eine größere Schirmfläche in Anspruch nehmen. Gleiches gilt, wenn Anfang oder Ende eines Kurvenzugs beob-

achtet werden sollen und diese – bei entsprechend großer Kippspannung – bereits außerhalb des Schirmrands liegen (siehe Bild 5: Kippspannung so groß, daß mehr als die Schirmbreite ausgeschrieben wird, und Bild 8: Kippspannung verringert). Zusammen mit einer möglichst großen und in der Amplitude regelbaren Kippspannung (entspricht einer Bildbreite-Regelung!) läßt sich dadurch eine lupenartige Vergrößerung interessierender Schirmbildausschnitte erreichen. Man rückt dazu bei größtmöglicher Kippspannung und großer Y-Spannung den interessierenden Bildteil mittels der Regler „Strahlverschiebung" in die Bildmitte. Letzteres empfiehlt sich auch deshalb, weil die Bildschärfe an den Schirmrändern meist wesentlich schlechter ist als in der Bildmitte. Das ist durch die Röhrenkonstruktion bedingt und je nach Typ verschieden stark. Bei handelsüblichen Röhren läßt es sich nie ganz vermeiden. Näheres dazu im nächsten Abschnitt.
Das Kippgerät liefert bei manchen Oszillografen außer der Ablenkspannung noch einen Spannungsimpuls an das Gitter 1. Hierbei handelt es sich (im Bild 10 punktiert angedeutet) um die *Strahlrücklauf-Dunkeltastung.* Durch einen negativen Spannungsimpuls an g 1 wird jeweils im Moment des Strahlrücklaufs der Elektronenstrahl unterdrückt und im Bild daher nicht störend sichtbar.
Die im Bild 8 erkennbare Erscheinung ist dann unsichtbar. In fast allen Oszillogrammen des vorliegenden und folgenden Büchleins wurde, um den Rücklauf darzustellen, diese Rücklaufaustastung absichtlich abgeschaltet. Diese Maßnahme soll das Entstehen der gezeigten Bilder verständlicher werden lassen.
Es bleibt noch die Synchronisation, eine bedeutende Einrichtung aller üblichen Oszillografen, zu erwähnen. Wie bereits im vorigen Abschnitt erläutert, ist es wesentlich, daß die Kippfrequenz stets im ganzzahligen Verhältnis zur Meßfrequenz steht. Das läßt sich von Hand besonders bei höheren Frequenzen (der Kippfrequenzbereich reicht bereits bei Mittelklassen-Oszillografen von 1 Hz und weniger bis etwa 100 kHz, bei Laboroszillografen bis zu einigen Me-

gahertz) schwierig einstellen und noch schwerer über einen gewissen Zeitraum konstant halten. Wenn bei einer Kippfrequenz von 100 kHz die Frequenzdifferenz zwischen Meß- und Kippspannung nur 1 Hz beträgt – das entspricht einem Frequenzfehler von $1 \cdot 10^{-5}$ –, so „rollt" das Schirmbild bereits so schnell, daß eine Auswertung kaum noch möglich ist! Daher wird die Kippfrequenz fast bei jeder Messung automatisch mit der Meßfrequenz synchronisiert. Das Kippgerät erhält dazu ein Teil der Meßspannung vom Ausgang des Meßverstärkers zugeführt. Den Kippgenerator stellt man nun so ein, daß seine Frequenz möglichst gut der Meßfrequenz, dem gewünschten Bruchteil oder – in Ausnahmefällen – Vielfachen davon entspricht. Innerhalb eines kleinen Frequenzbereichs wird er dann von der Meßfrequenz synchronisiert, das heißt, die Meßspannung löst den Strahlrücklauf selbst aus. Je nach seiner Schaltung reagiert der Kippgenerator dann auf den positiven oder negativen Spitzenwert der Meßspannung, mitunter auch auf deren Nulldurchgang (letzteres ist im Bild 8 der Fall!). Man spricht deshalb von Eigensynchronisation des Kippgeräts. Über Schalter S 1 kann der Synchroneingang des Kippgeräts auch auf einen äußeren Anschluß gelegt und mit einer beliebigen anderen Spannung von außen fremdsynchronisiert werden, was für manche Messungen nötig ist. Viele Oszillografen haben bei S 1 noch eine dritte Schalterstellung für 50-Hz-Netzsynchronisation, bei der das Kippgerät von der Netzfrequenz synchronisiert wird. Das ist für alle Messungen von Vorteil, bei der die Meßspannung je nach ihrer Herkunft ebenfalls in festem Frequenzverhältnis zum Netz steht. Außerdem kann das Kippgerät selbstverständlich auch völlig unsynchronisiert betrieben werden.

Hochwertige Oszillografen haben für den Synchroneingang des Kippgeräts mitunter noch einen „Synchrongrad-Regler", der es erlaubt, die Stärke der zugeführten Synchronspannung einzustellen. Ist sie zu gering, so erfolgt keine oder eine unstabile Synchronisation. Ist sie zu groß, so wird das Kippgerät zu fest synchronisiert und auch

dann noch gewaltsam in Tritt gehalten, wenn die eingestellte Kippspannung schon beträchtlich von der Meßspannung abweicht. Derartig übertriebene Synchronisation kann zu Abbildungsfehlern führen und sollte vermieden werden. Auf die richtige Synchronisation wird im nächsten Abschnitt eingegangen.

Ein Kippgerät kann also grundsätzlich betrieben werden:

a) freilaufend unsynchronisiert;

b) synchronisiert von der Meßspannung, von einer fremden, von außen zugeführten Spannung oder vom 50-Hz-Netz;

c) getriggert.

Die Triggerung der Zeitablenkung bedingt einen beträchtlichen Schaltungsaufwand im Kippgerät und scheidet schon deshalb für Amateurzwecke aus. In der Amateur- und Werkstattpraxis hat diese an und für sich sehr praktische und vorteilhafte Betriebsart auch keine wesentliche Bedeutung, so daß im folgenden auf die Behandlung der Triggerung verzichtet wird. Prinzipiell arbeitet ein getriggertes Zeitablenkgerät so, daß es nicht ständig eine eigene Kippschwingung erzeugt. Lediglich jede Periode der Meßspannung löst einen Strahlhinlauf aus, nach dem der Strahl – falls keine weiteren Perioden der Meßspannung folgen – in seine Ruhelage zurückkehrt und dort verbleibt. (Links am Bildrand; die Strahlhelligkeit ist während der Ruhezeit – Wartezeit – unterdrückt und wird nur im Hinlauf hellgetastet.) Die Schnelligkeit des Strahlhinlaufs kann am Kippgerät eingestellt werden, was der Einstellung der Zeitbasis beziehungsweise der Kippfrequenz am freilaufenden Kippgerät entspricht. Damit ist der Strahl zwangsläufig der Meßspannung synchron. Vorteilhaft wirkt sich das besonders bei der Untersuchung einmaliger oder nichtperiodischer Impulse aus oder zur starken Zeitdehnung einzelner Ausschnitte aus einer Schwingung; Messungen, die beim Amateur sehr selten vorkommen. Übliche Werkstattoszillografen ermöglichen meist keinen getriggerten Betrieb, Selbstbau eines Triggergeräts ist aufwandsmäßig für den Amateur nicht lohnend.

1.3. Einstellung des Oszillogrammbilds und Fehlererscheinungen

1.3.1. Einstellungen mit ruhendem Leuchtpunkt

Am ruhenden Leuchtpunkt (also ohne Spannung an den Ablenkplatten) lassen sich insbesondere die Helligkeits- und Schärfeeinstellung demonstrieren. Praktisch wird beides allerdings ausschließlich anhand des abgebildeten Schwingungszugs eingestellt. Insbesondere kann bei zu großer Helligkeit durch den stehenden Leuchtpunkt sehr leicht der Bildschirm beschädigt werden (Einbrennen!), weshalb man einen Oszillografen üblicher Art grundsätzlich nur mit laufendem Kippgerät betreiben sollte. Auch dann kann es noch leicht zum Einbrennen der Nullinie kommen, wenn mit zu großer Helligkeit gearbeitet wird und keine Meßspannung anliegt. Derartige Röhren sind nur noch begrenzt brauchbar, weil Einbrennstellen merklich an Leuchtkraft verlieren. Im Oszillogrammbild ergeben sich dann dunkle Stellen, die nicht vorhandene Erscheinungen im Bild der Meßspannung vortäuschen können.

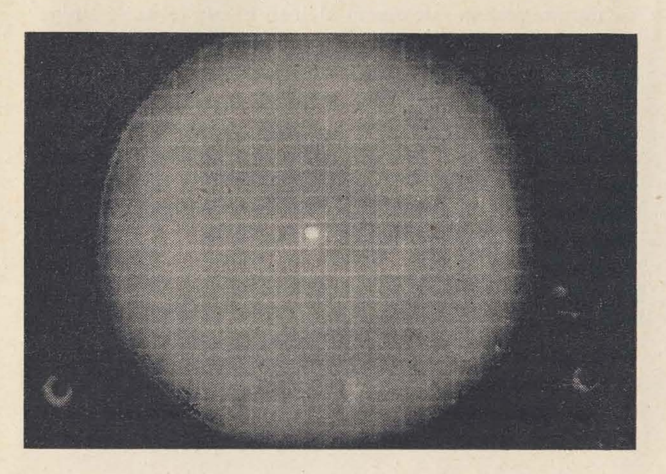
Zwar gelingt es manchmal, derartige nicht zu stark eingebrannte Stellen mit einem kleinen Praktikerkniff einigermaßen zu regenerieren, indem der Bildschirm der Röhre einige Stunden starker Ultraviolettstrahlung (praller Sonne oder Höhensonne) ausgesetzt wird. Wir wollen uns deshalb von vornherein angewöhnen, die kostbare Bildröhre nur mit der unbedingt notwendigen Helligkeit zu betreiben und insbesondere den stehenden Punkt ganz zu vermeiden beziehungsweise ihn nur im verdunkelten Raum eben knapp sichtbar einzustellen. Übrigens verhalten sich die einzelnen Leuchtschirmarten hier relativ verschieden. Während die bekannte Universalröhre *B 10 S 1* verhältnismäßig unempfindlich ist, neigt die alte, aber in Amateurkreisen noch weitverbreitete *LB 7* schon bei mittlerer Helligkeit sehr schnell zu Einbrennerscheinungen.

Am stehenden Punkt lassen sich die Abbildungsfehler der Röhre gut sichtbar machen. Der in Bildmitte als Punkt ab-

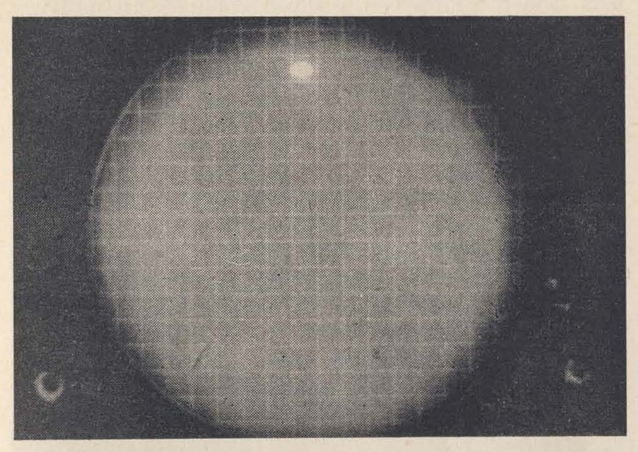
gebildete Strahl ist an den Bildrändern keineswegs mehr punktförmig, sondern weist dann je nach Röhrentyp und Schaltung verschieden starke Astigmatismusfehler und Komafehler (vergleichbar mit den entsprechenden Fehlern optischer Linsen) auf. Es ist deshalb auch nicht bei allen Bildröhren möglich, über die ganze Schirmfläche gleichmäßige Schärfe einzustellen. In der Nähe der Schirmmitte ist die Punktschärfe stets am besten, in diesem Gebiet sollte auch die Scharfeinstellung und Auswertung der Oszillogramme erfolgen.

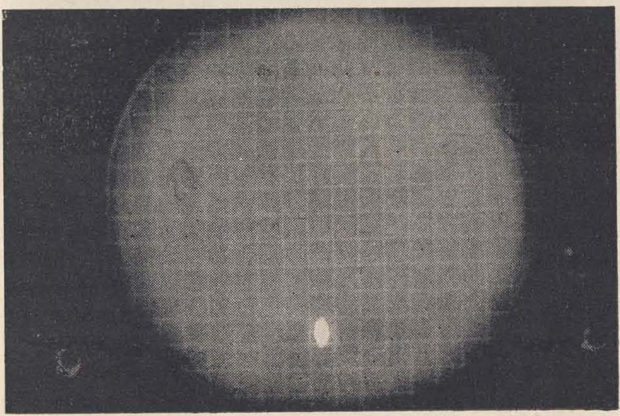
Bild 11 zeigt einen in Schirmmitte scharf eingestellten Leuchtpunkt (damit dieser besser zu erkennen ist, wurde nicht die maximale Schärfe, sondern ein etwas größerer Fleckdurchmesser eingestellt). Dieser Leuchtpunkt wurde bei unveränderter Schärfeeinstellung mittels einer an die Y-Platten angelegten Gleichspannung vertikal verschoben („Strahlverschiebung Y" im Bild 10).

Bild 12 zeigt den Punkt in Nähe des oberen Schirmrandes. Bei deutlich vergrößertem Durchmesser (entspricht Schärfeverlust im Oszillogrammbild an dieser Stelle) hat er die Gestalt einer liegenden Ellipse angenommen. In Nähe des unteren Schirmrandes (Bild 13) ist der gleiche Effekt sicht-



bar, jedoch steht die Ellipse jetzt senkrecht. Zwar gelingt es, sie mit dem Schärferegler zu verkleinern, eine ideale Punktform, also Schärfe, läßt sich allerdings nicht ganz erreichen. Außerdem stimmt dann die Schärfe in der Bildmitte nicht mehr. Eine Auswertung von Oszillogrammen an den Bildrändern ist daher möglichst zu vermeiden.





Bilder 11 bis 13 Verschiedene Abbildungen des ruhenden Leuchtflecks

Bei den meisten Röhren gelingt es durch geschickte Einstellung von Schärfe- und Helligkeitsregler (falls deren Regelbereich weit genug für diesen praktisch nicht erforderlichen Effekt ist), die Eigenschaften der *Elektronenoptik* zu verändern. Dabei zeichnet sich die Katode selbst auf dem Bildschirm ab, oder das Strahlenbündel wird so auseinandergezogen, daß es die Ablenkplatten streift und diese im Profil wiedergibt. Während letztere Einstellung bestenfalls den Wert eines Demonstrationsversuchs hat, kann die Abbildung der Katode Rückschlüsse auf deren Zustand und das Alter der Röhre zulassen. Bild 14 zeigt ein Beispiel hierfür.

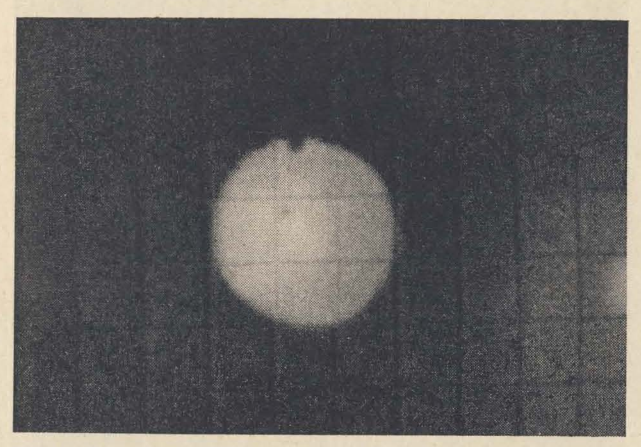
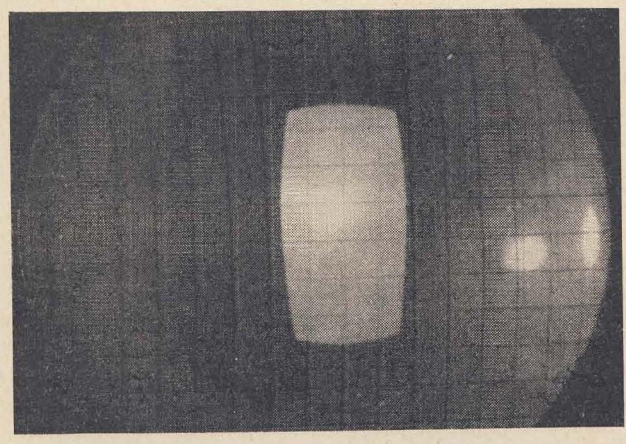


Bild 14 Vergrößertes Abbild der Katodenoberfläche

Die helle Fläche ist die emittierende Katodenschicht, abgegrenzt durch die Öffnung des Wehneltzylinders (Gitter 1). Eine einwandfreie Katode muß über die ganze Fläche gleichmäßig emittieren und daher ohne Struktur gleichmäßig hell erscheinen.

Gealterte oder beschädigte Katoden zeigen ungleichmäßige Emission (dunkle Flecken) oder sogar scharf abgegrenzte tote Zonen.

Die Katode der Röhre im Bild 14 ist also einwandfrei, lediglich etwas links oberhalb der Mitte zeigt sich ein erster Ansatz zur Inselbildung (Zentrum nachlassender Emission) in Gestalt eines winzigen dunklen Pünktchens. Außerdem kann man am oberen Katodenrand beziehungs-



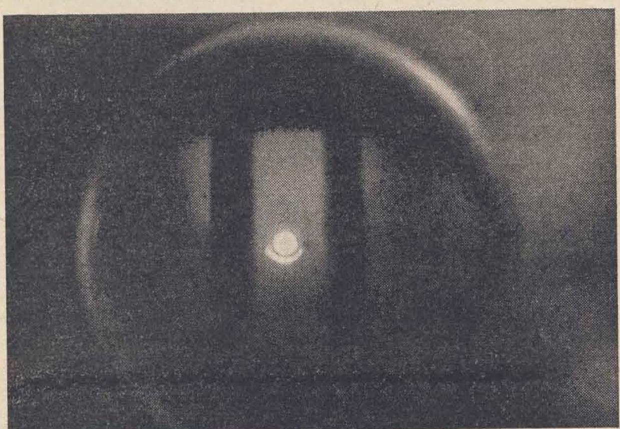


Bild 15a, b Projektionen der Ablenkplatten bei zwei verschiedenen Bildröhren

weise an dem durch die Gitteröffnung gebildeten Schattenrand eine schwarze Einbuchtung erkennen, die der Form und Lage nach vermutlich auf einen der Katode oder der Gitteröffnung anhaftenden, winzigen Fremdkörper (abgeplatztes Katodenstäubchen?) schließen läßt. (Die gesamte abgebildete Katodenfläche mißt weniger als 1 mm im Durchmesser!)
Bild 15a zeigt durch veränderte Einstellung des Schärfe- und Helligkeitsreglers (ausprobieren, beide Regler beeinflussen sich meist gegenseitig. Vorsicht vor Einbrennflekken!) die Projektion der schirmnahen Zeitablenkplatten (X-Platten) sowie kleiner (obere und untere Begrenzung) die der Y-Platten. Die Wölbung entsteht hier durch Abbildungsfehler der nicht für diesen Betriebszustand konstruierten Röhre. Die Platten sind selbstverständlich gerade. Bild 15b stellt die etwas anschaulichere Projektion der X-Platten einer älteren kommerziellen Röhre dar. In der Mitte ist das helle Katodenbild noch andeutungsweise erkennbar. – Mit diesen Einstellversuchen bei stehendem Leuchtpunkt kann man sich also einen gewissen Überblick über Zustand und Abbildungsfehler der Röhre verschaffen.

1.3.2. Einstellungen mit laufendem Kippgerät

Betrieblich wichtiger sind die Einstellungen mit laufender Strahlablenkung durch das Kippgerät. Man stellt zweckmäßig eine mittlere Ablenkfrequenz (einige hundert Hertz) ein. Bild 16 zeigt die Nullinie oder Zeitachse. An ihr können bereits die maximale Punktschärfe und die ungefähr günstigste Helligkeit eingestellt werden. Mit dem Regler „Strahlverschiebung Y" wird sie in Schirmmitte gebracht. Bild 16 zeigt die für den Meßbeginn richtige Einstellung. Den Vergleich dazu gibt Bild 17. Hier ist die Nullinie unscharf. Das kann entweder an falscher Einstellung des Schärfereglers oder, wenn dieser bereits auf maximaler Schärfe steht, an zu großer Helligkeit liegen. Eine derart dicke Leuchtspur „unterschlägt" alle feineren Einzelheiten im Oszillogramm.

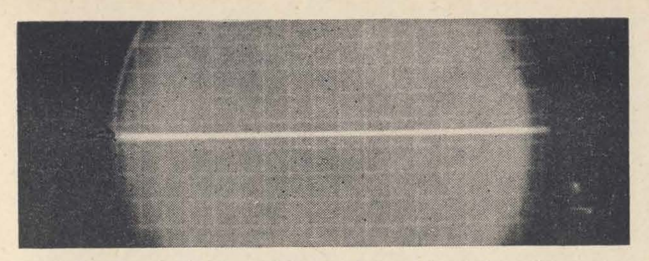


Bild 16 Vom Leuchtfleck geschriebene Nullinie (Zeitbasislinie)

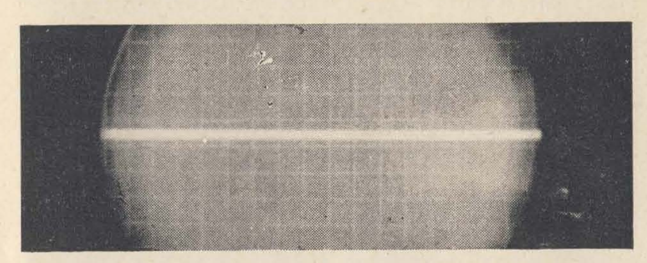


Bild 17 Wie Bild 16, aber unscharfe Nullinie durch mangelhafte Fokussierung des Strahles oder zu große Helligkeit

Im Zusammenhang mit Bild 10 wurde bereits die Synchronisation behandelt. Die folgenden Bilder geben hier einige Beispiele.

Bild 18 gibt einen Synchronisationsversuch wieder. Die Meßspannung war eine Sinusspannung, die Kippfrequenz

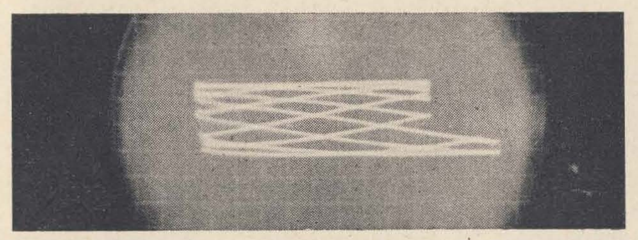


Bild 18 Zu starker Synchronisierungszwang ist an der Abschrägung der rechten Oszillogrammkante sichtbar. Die Kippfrequenz betrug ein Vielfaches der Meßfrequenz

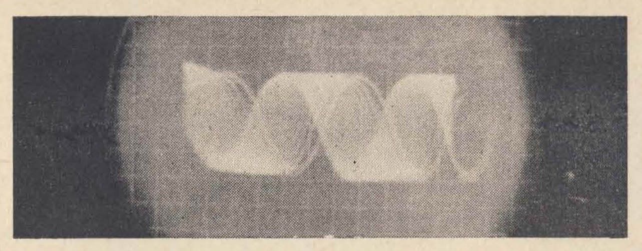


Bild 19 „Wanderndes" Oszillogramm bei fehlender oder zu schwacher Synchronisation

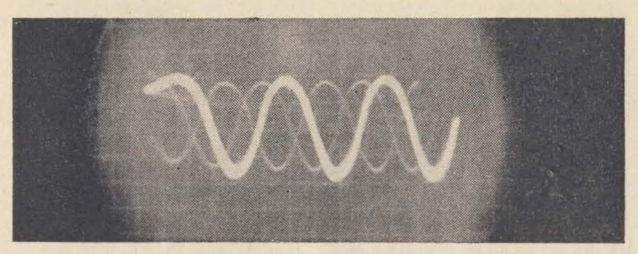


Bild 20 „Auskippendes" Bild. Die Synchronisation ist vorhanden, kann aber keinen bleibenden Gleichlauf halten, da die Kippfrequenz zu weit von der Meßfrequenz abweicht. Einzelne Perioden fallen bereits außer Tritt. Sie sind im Foto schwächer sichtbar als das stehende Bild und in ständiger Bewegung

betrug das 11fache der Meßfrequenz. Der Sinus der Meßspannung erscheint daher in 11 übereinander geschriebene Teile zerlegt. Eine Synchronisation ist hier schwierig, da bei einem derart hohen Verhältnis Meßfrequenz zu Kippfrequenz die letztere nur noch von jeder 11. Periode der Meßfrequenz synchronisiert werden kann, während der übrigen 10 Kipperioden also genügend Gelegenheit zu kurzzeitigem Weglaufen hat. Die derartige Darstellung einer Meßspannung bleibt stets ungewöhnlich und hat nur dann Sinn, wenn einzelne Details in der Kurve zu untersuchen sind, deren Zeitdauer wesentlich kürzer als die Meßspannungsperiode ist. Wegen des schlechten Bildstands wurde im Bild 18 die Synchronspannung anormal erhöht; das Kippgerät wird dabei bereits „gewaltsam" mitgenommen.

Ein Zeichen für diese zu starke Synchronisation ist die typisch abgeschrägte rechte Kante des Oszillogramms. Sie zeigt deutlich, daß die einzelnen Strahlrückläufe jetzt zu verschiedenen Zeiten einsetzen und die Lage der einzelnen Schwingungsteilzüge ineinander daher nicht originalgetreu sein kann. Es besteht also die Gefahr der Fehldeutung durch zu starke Synchronisation. – Die Kippfrequenz wurde anschließend auf die Hälfte der Meßfrequenz verringert und die Synchronisation abgeschaltet. Durch geringe Frequenzdifferenzen zwischen Kipp- und Meßfrequenz kommt es dann zum Laufen des Bildes. Diese Erscheinung zeigt Bild 19. Sie ist typisch für fast erreichte Übereinstimmung des Verhältnisses Kippfrequenz zu Meßfrequenz sowie für fehlende oder zu schwache Synchronisation. Bei Aufdrehen des Synchronradreglers oder Einschalten der Synchronisation ergibt sich dann sofort das stehende, einwandfreie Bild der Meßspannung nach Bild 21. Dieses Aussehen – 2 Perioden der Meßspannung bei ruhig stehendem, scharfem Bild – soll ein normales Oszillogramm haben. Die Abbildung zweier Perioden ist günstig, um Einzelheiten in der Kurve, die vielleicht gerade mit dem Strahlrücklauf (er ist links im Bild noch schwach erkennbar) zusammenfallen könnten, nicht zu übersehen. – Eine Erscheinung, die bei normaler Synchronisation, aber zu weit abweichender Kippfrequenz auftritt, zeigt Bild 20. Hier ist die Synchronisation knapp vor dem Abreißen, ihre

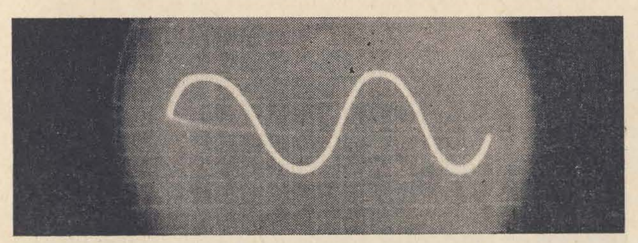


Bild 21 Einwandfreie Wiedergabe der Meßspannung, erhalten aus Bild 19 durch geringe Nachregelung der Kippfrequenz. Die Kippfrequenz hat den halben Betrag der Meßfrequenz

Verstärkung hat keinen Sinn, weil es dann zu der Fehlererscheinung nach Bild 18 kommt. Die Kippfrequenz muß nachgeregelt werden. Im Bild 20 zeigt sich das bevorstehende Ausreißen des Bildstands darin, daß einzelne Schwingungszüge nicht mehr synchronisiert werden und daher als Nebenbilder in zufälligen Lagen zur Abbildung kommen. Insgesamt macht das Oszillogramm dann einen unruhigen, zitternden Eindruck (engl. *jittering*). Derartige *Jitterings* treten auch bei nicht ausreichend stabilen Kippgeneratoren trotz sorgfältiger Frequenzeinstellung und Synchronisation auf, insbesondere bei nicht einwandfreien Eigenbaugeräten. Speziell Multivibratorschaltungen neigen dazu.

Eine andere, bei Selbstbaugeräten häufige und sehr störende Erscheinung ist der Einfluß des Netzbrummens auf das Oszillogramm. Die Netzfrequenz kann sich auf die Ablenkung und auf die Strahldichte (Helligkeit) auswirken. Beim Einfluß auf die Ablenkung unterscheidet man zwischen elektrischem und magnetischem Brumm.

Bild 22 zeigt eine verbrummte Nullinie. Diese Form entsteht durch ungenügend gesiebte Anodenspannung im Meßverstärker oder auch durch Eindringen der Netzfrequenz in den Meßverstärker über die Röhrenheizung. Bei der Darstellung im Bild 22 lief das Kippgerät mit 25 Hz, es werden also 2 Perioden der Netzfrequenz abgebildet. Wie zu erkennen ist, handelt es sich vorwiegend um die Grundwelle. Möglich ist auch eine kapazitive Einstreuung durch

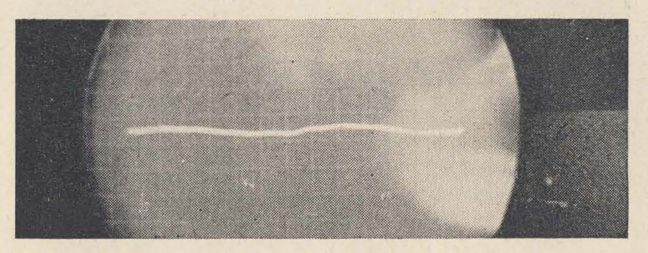
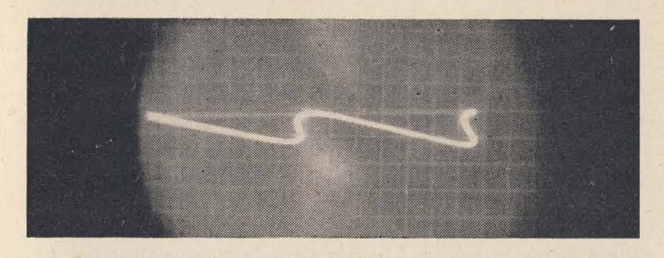


Bild 22 „Verbrummte" Nullinie



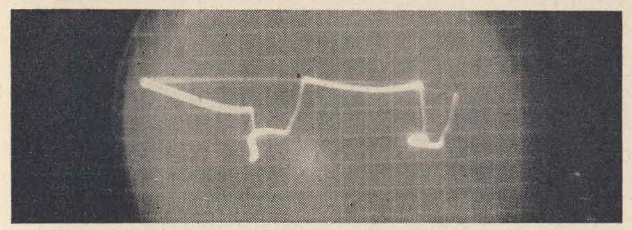


Bild 23/24 Typische Erscheinungsformen magnetischer Brummbeeinflussung des Strahles. An den Meßplatten liegt im Bild 23 keine Rechteckspannung, im Bild 24 jedoch eine nach Bild 38

ungenügend abgeschirmten Verstärkereingang. Die Nulllinie weist dann eine eckigere Welligkeit, häufig ein vertikal ausgefranstes Aussehen mit kleinen Spannungsspitzen auf. In diesen Fällen handelt es sich also um elektrischen Brumm, den man auch nachträglich noch beseitigen kann. Schwieriger sind die Fälle, in denen magnetischer Brumm vorliegt. Bekanntlich reagiert der Elektronenstrahl auch auf magnetische Fremdfelder. Sie rühren meist von in der Nähe stehenden anderen Geräten (Netztrafos) her. Besonders unangenehm sind Einstreuungen vom eigenen Netztrafo des Oszillografen, weil sie sich nachträglich schwer beseitigen lassen. Dieser muß daher von vornherein so angeordnet sein, daß er die Röhre möglichst wenig beeinflußt (am besten direkt hinter dem Bildröhrensockel in Verlängerung der Röhrenachse, mit Richtung des geringsten Streufelds zur Röhre). Magnetischen Brumm erkennt man daran, daß der stehende Leuchtpunkt, mit der Lupe

betrachtet, nicht nur länglich (vertikal oder sehr selten horizontal, wenn ein elektrischer Brumm über einen vorhandenen X-Meßverstärker eindringt) verformt ist, sondern eine eckige, oft nur Millimeter große Form aufweist (trapezähnliche Formen sind häufig). Der Leuchtpunkt wird dann bei laufender Zeitablenkung auch horizontal verformt. Im Oszillogramm macht sich das in schwankenden bis zitternden und sich zeitweise verdoppelnden Bildkonturen bemerkbar. Aus diesem Grunde kann selbst bei geringem magnetischem Brumm eine genaue Auswertung des Oszillogramms unmöglich werden, selbst wenn die Erscheinung in der reinen Nullinie nicht sehr deutlich ist. Ein zeitweilig in der Horizontalen sogar rückwärts laufender Strahl weist eindeutig auf magnetischen Brumm hin. Im Bild 23 wurde diese Erscheinung, um sie besser erkennen zu können, durch Annähern eines stark streuenden Trafos absichtlich übertrieben herbeigeführt. Der Oszillograf bildet eine reine Nullinie entsprechend Bild 16 ab, die Zeitablenkung wurde zwecks Stillstand des Bildes mit dem Netz synchronisiert, eine Meßspannung fehlt. Die Auslenkung kommt nur durch das störende Magnetfeld zustande (rückläufiger Strahlweg in Bildmitte und rechts) und ist – bis auf die übersteigerte Größe – typisch für magnetischen Brumm. Um derartige Störungen zu vermeiden, wird die Bildröhre in einem Eisenblech- oder besser Mumetall-Abschirmzylinder untergebracht. Dieser Abschirmzylinder wurde für die Aufnahme (Bild 24) entfernt. Das störende Magnetfeld ist das gleiche wie bei Bild 23, zusätzlich kam als Meßspannung jetzt ein 50-Hz-Rechteckimpuls zur Abbildung (Form nach Bild 38). Deutlich ist zu sehen, wie die negative Impulshalbwelle zusammengeschoben erscheint und der Impuls, besonders an den unteren Ecken, vollständig verformt wird. Ein derartiges Oszillogramm ist, auch wenn sich diese Einflüsse schwächer zeigen, völlig unbrauchbar.
Abhilfe kann hier nur durch sorgfältigere magnetische Schirmung der Bildröhre und Entfernen aller streufeldbehafteten Trafos sowie ähnlicher Geräte geschaffen wer-

den, was mitunter einen Umbau des Eigenbau-Oszillografen bedingt.
Leichter lassen sich Brummeinstreuungen auf das Steuergitter der Bildröhre beseitigen. Sie sind stets elektrischer Natur. Ist am Gerät kein Anschluß für äußere Hellsteuerung vorgesehen, dann liegt das Gitter gewöhnlich über einen großen Kondensator an Katode oder Masse, so daß keine Wechselspannung eindringen kann. Anderenfalls muß die Leitung vom „Eingang Hellsteuerung" bis zum Röhrensockel der Bildröhre sorgfältig abgeschirmt werden. Wenn man Schwingungen von 50, 100 oder 200 Hz abbildet, wird die vorliegende 50-Hz-Helligkeitsmodulation besonders deutlich. Läuft die Zeitablenkung synchron mit

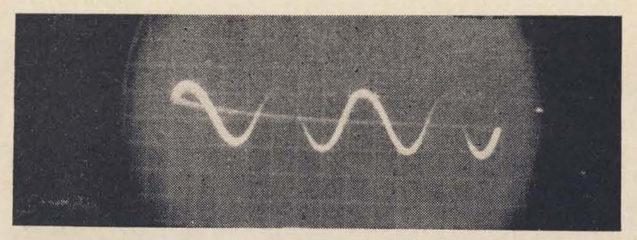


Bild 25 Helligkeitsmodulation des Strahles durch die Netzfrequenz („verbrummte Helligkeit"). Die abgebildete Sinusschwingung hat 100 Hz

der Meßfrequenz und diese wiederum mit dem Netz, so steht die Helligkeitsmodulation im Oszillogrammbild. Anderenfalls läuft sie mehr oder weniger schnell als Schatten durch die Kurve. Bild 25 zeigt eine 100-Hz-Schwingung, helligkeitsmoduliert durch die über die Hellsteuerung eindringende Netzfrequenz. Die negative Halbwelle der Netzperiode verringert die Strahlhelligkeit, die positive vergrößert sie. In der 100-Hz-Kurve ist demzufolge jeder zweite Schwingungszug abgedunkelt. Auch diese Erscheinung ist, falls sie nicht für besondere Meßzwecke absichtlich herbeigeführt wird, besonders beim Oszillografieren niederfrequenter Schwingungen von einigen zehn bis tausend Hertz sehr störend.

1.3.3. Die verschiedenen Meßgrößen

Im ersten Abschnitt haben wir die verschiedenen möglichen Ablenkverfahren bereits kurz gestreift. Sie sollen nun im Zusammenhang mit einigen Bildbeispielen erläutert werden.

Bild 26 zeigt eine reine Y-Ablenkung. Die Zeitplatten sind nicht angeschlossen, den Meßplatten wurde eine Sinusschwingung zugeführt, in deren Takt der Lichtpunkt auf- und niederwandert. Er schreibt dabei scheinbar einen vertikalen Strich, dessen Höhe ein Maß für die Amplitude der Meßspannung Y ist. – Bild 27 zeigt die gleiche Spannung, jetzt an die X-Platten angelegt. In beiden Bildern fällt die größere Helligkeit und die dadurch optisch bedingte, scheinbar verdickte Leuchtspur an den Enden auf. Sie entsteht, weil der Leuchtpunkt hier langsamer wandert (Richtungsumkehr!) als im Mittelteil des Striches. Diese Erscheinung ist typisch für Sinusspannungen und ähnliche

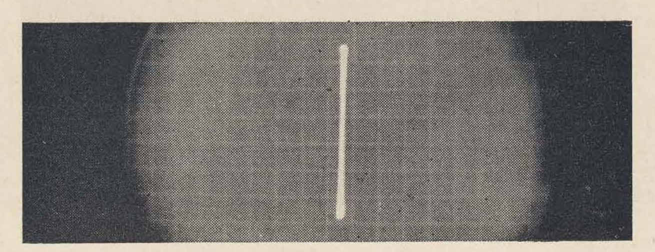


Bild 26 Y-Ablenkung des Strahles

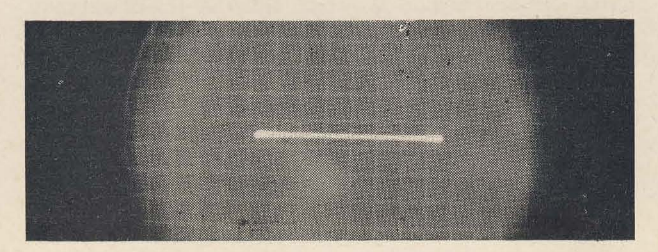


Bild 27 X-Ablenkung des Strahles

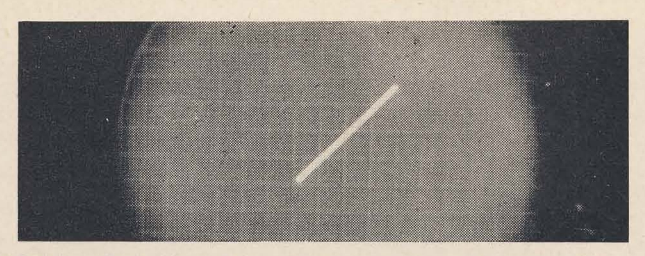


Bild 28. Gleichzeitig in beiden Koordinaten erfolgte Ablenkung. Die an X-Platten und Y-Platten angelegten Spannungen sind gleich groß, wie sich aus dem aufgelegten Raster ablesen läßt

Kurvenformen und wäre noch weit ausgeprägter, wenn die Spannung rechteckförmigen Verlauf hätte.
Bild 28 zeigt die gleiche Wechselspannung, gleichzeitig an beide Plattenpaare angelegt (X und Y parallel). Die Strahlauslenkung erfolgt jetzt in der positiven Halbwelle sowohl nach oben als auch nach rechts, in der negativen Halbwelle nach unten und links. Das Ergebnis ist ein unter 45° geneigter Strich. Vermindert man die an die Zeitplatten angelegte X-Spannung, so wird die Horizontalablenkung geringer, und der Strich steht nun steiler. Bild 29 gibt dies für ein Spannungsverhältnis X : Y = 1 : 2 wieder. Wird die Y-Spannung verringert, so liegt der Strich flacher, wie es Bild 30 für X : Y = 2 : 1 darstellt. Durch Auszählen der Rastermarken läßt sich das gut erkennen. Wir haben damit also zwei mögliche Ablenkparameter. Für die Darstellung zeitlicher Abläufe wird einer von ihnen – X – durch die Sägezahnspannung des Zeitablenkgeräts (Sägezahnspannungsgenerator) gebildet, wie bereits erläutert wurde (Bild 4). Diese Kippspannung bezeichnet man daher oft auch als Zeitspannung, die X-Ablenkrichtung als Zeitbasis und die Kippfrequenz als Zeitbasisfrequenz. Bei hochwertigen Oszillografen wird sie vielfach nicht in Hertz, sondern in Milli- oder Mikrosekunden angegeben, um eine übersichtlichere Beurteilung des zeitlichen Ablaufs der dargestellten Schwingung zu ermöglichen.

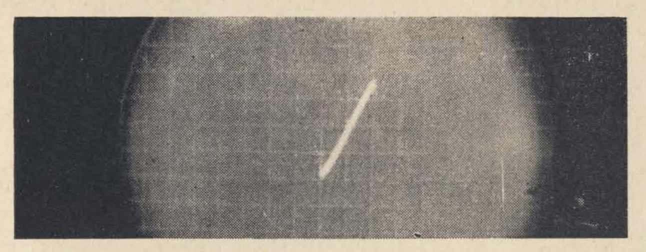


Bild 29 Wie Bild 28, Spannungsverhältnis X : Y = 1 : 2

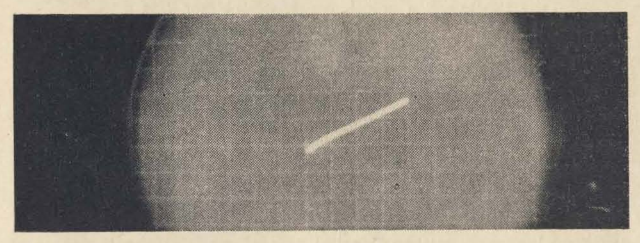


Bild 30 Wie Bild 28. Spannungsverhältnis X : Y = 2 : 1

Eine dritte Meßgröße läßt sich durch die Helligkeitssteuerung darstellen. Es ist möglich, auf diesem Wege mittels geeigneter Spannungsimpulse Hellmarken und Dunkelmarken in den Kurvenzug einzublenden, womit bestimmte Kurvenstellen (Nulldurchgänge als Beispiel) oder Zeitabstände (bei bekannter Frequenz der Hellsteuerspannung) in der abgebildeten Schwingung markiert werden können. Bild 31 zeigt eine normale 50-Hz-Netzsinusschwingung, die außerdem der Hellsteuerung zugeführt wurde. Das Ergebnis ist aus Bild 32 ersichtlich. Jeweils die negative Halbwelle der Netzspannung verdunkelt die Kurve. Da dies hier mit dem oberen, also positiven Kurvenzug der gleichen Spannung (entnommen von einem Netztransformator mit 2 getrennten 6-V-Wicklungen) zusammenfällt, läßt sich daraus folgern, daß die Meßspannung gegen die Hellsteuerspannung um 180° phasenverschoben ist. Durch Umpolen einer Trafowicklung wäre Gleichphasigkeit er-

reicht, es würden dann die unteren Halbwellen abgeschattet.

Hellmarken in dieser Form sind nicht brauchbar, weil sie keine klare Abgrenzung ergeben und zu große Kurventeile auslöschen. Es ist aber leicht möglich, eine beliebige Sinusspannung in eine Rechteckspannung zu überführen

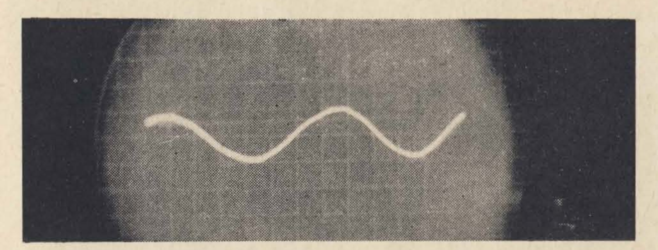


Bild 31 50-Hz-Netzsinuskurve

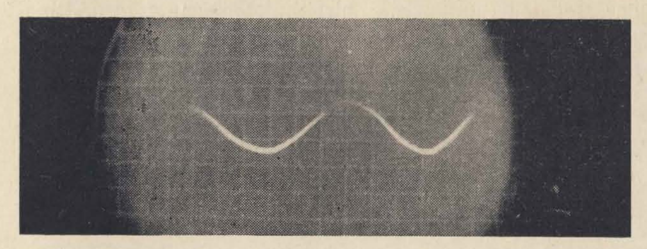


Bild 32 Die gleiche Kurve bei gleichzeitiger Helligkeitsmodulation des Strahles mit der Netzfrequenz

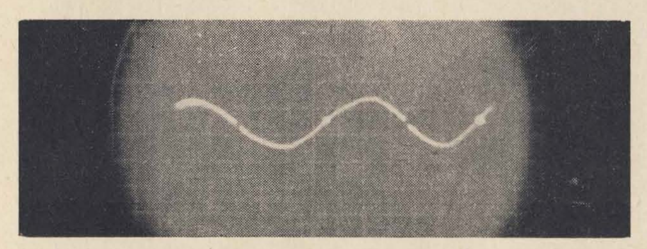


Bild 33 Die mittels Hell- und Dunkelmarken in der Netzsinuskurve sichtbar gemachten Nulldurchgänge

und diese dann durch Differentiation in einen Nadelimpuls umzuwandeln. Näheres dazu in Kapitel 2.2. und 2.3. Die Nadelimpulse fallen dann mit den Nulldurchgängen der ursprünglichen Sinusspannung zeitlich zusammen. Wenn die Nadelbreite (Impulsdauer) ausreichend kurz ist, ergeben diese Impulse, der Hellsteuerung zugeführt, sehr deutlich abgegrenzte, punktförmige Marken. Dies wurde mit der Netzfrequenz durchgeführt (Bild 33). Dabei wurde ein Rechteckbegrenzer nach Abschnitt 2.2.2. und ein anschließendes RC-Differenzierglied nach Abschnitt 2.3. benutzt. Die Hellmarken geben jetzt sehr genau die Lage der Nulldurchgänge der Sinuskurve an, aus der sie abgeleitet wurden. Der Nulldurchgang erzeugt in Richtung zur negativen Halbwelle eine negative Spannungsspitze und damit eine Dunkelmarke, der Nulldurchgang nach positiver Spannung hin entsprechend eine positive Nadel und Hellmarke. Im zweiten Band werden für die Anwendung der Hellsteuerung noch zahlreiche Beispiele folgen. Eine mit Hellmarken versehene Sinuskurve für ein Frequenzmeßverfahren zeigt auch das Titelbild des vorliegenden Heftes.

2. Gerätetechnik

In diesem Abschnitt werden eine Reihe von wichtigen Zusatzgeräten für Oszillografen beschrieben. Erst durch sie wird der einfache Oszillograf wirklich vielseitig und erlaubt dem Amateur die Durchführung aller auftretenden Meßaufgaben. Zusatzgeräte sind also kein Luxus. Ohne sie ist der Oszillograf wie eine Modelleisenbahn ohne Zubehör oder eine Wohnung ohne Mobiliar: zwar verwendbar, aber nicht vielseitig ausnutzbar. Das Schwergewicht in diesem Kapitel liegt daher auf den Zusatzgeräten. Diese Geräte liefern, bei einem für Amateure vertretbaren Aufwand, vollwertige Ergebnisse (für Kompromißlösungen ist gerade in der Oszillografentechnik kaum der richtige Platz!), sie lassen sich sicher nachbauen und untereinander gut kombinieren. Auf die zweckentsprechende Anwendung der Geräte wird im nachfolgenden Heft (Teil II: Praxis der Oszillografie) eingegangen. Die Geräte können mit allen üblichen Werkstatt- und Service-Oszillografen benutzt werden. Die hier gewählte Zusammenstellung soll dem Amateur langwieriges Suchen in der Fachliteratur ersparen.

2.1. Der Oszillograf

In der Einleitung wurde bereits gesagt, daß aus Platzgründen zugunsten der anderen Geräte keine komplette Baubeschreibung für einen Oszillografen gebracht wird. Die im folgenden beschriebenen Geräte lassen sich besonders vorteilhaft mit dem vom Verfasser entwickelten und im Heft 18 dieser Reihe (Meßplatz des Amateurs) beschriebenen Oszillografen benutzen. Ergänzend zu der dortigen Bauanleitung wird hier nur die Kurzbeschreibung eines industriell gefertigten Kleinoszillografen, *des Oszi 40* der *Fa. Böthner KG*, geboten. Eine ausführliche Bauanlei-

tung für diesen Oszillografen, der in Amateurkreisen weit verbreitet ist und den die Firma auch als Bausatz zum selbständigen Zusammenbau liefert, wurde in der Fachzeitschrift radio und fernsehen, Hefte 13 und 14/1958, veröffentlicht. Bezüglich aller Einzelheiten sei darauf verwiesen. Da dieser Oszillograf bei einfachstmöglicher Schaltung bereits alle wesentlichen Funktionsmerkmale aufweist, erscheint trotzdem eine Kurzbeschreibung seiner Schaltung als Ergänzung zu dem im Kapitel 1 Erläuterten angebracht, die natürlich nicht die Bauanleitung ersetzen kann und soll.
Zuvor eine kurze Aufwandsbetrachtung. Der *Oszi 40* ist zwar bestechend einfach aufgebaut, es darf aber nicht übersehen werden, daß das auf Kosten der erreichbaren technischen Daten und damit der vielseitigen Verwendbarkeit geschieht. Wer den Selbstbau eines Oszillografen beabsichtigt, sollte daher überlegen, ob er sich nicht von vornherein für einen etwas höheren Aufwand entscheidet, der sich schon nach kurzer Zeit als vorteilhaft erweist. Ein guter Oszillograf sollte eine Bildröhre mit wenigstens 100 mm Schirmdurchmesser haben (gut eignet sich die Standardröhre B 10 S 1), einen Kippfrequenzbereich von etwa 5 Hz bis wenigstens 100 kHz und Frequenzgang des Y-Meßverstärkers von 5 Hz bis etwa 3 MHz, so daß er auch für die Untersuchung von Fernsehgeräten verwendbar ist. Die Y-Eingangsempfindlichkeit sollte ausreichen, um bereits Spannungen von wenigen Millivolt abbilden zu können, die übrigen Eingangsdaten (Eingangsscheinwiderstand) müßten wenigstens denen eines guten Röhrenvoltmeters entsprechen. Auch ein X-Meßverstärker sollte vorhanden sein sowie die nötigen Anschlüsse für Hellsteuerung, Fremdsynchronisation (regelbar) und Kippspannungsausgang. Der in Heft 18 dieser Reihe beschriebene Oszillograf ist entsprechend dieser Anforderung ausgelegt. Bild 34 zeigt das Original-Schaltbild des *Oszi 40.* Verwendet wird hier die Bildröhre B 4 S 1 mit 40 mm Schirmdurchmesser. Für die genaue Auswertung von komplizierteren Schwingungsbildern ist diese Schirmbildfläche bereits zu

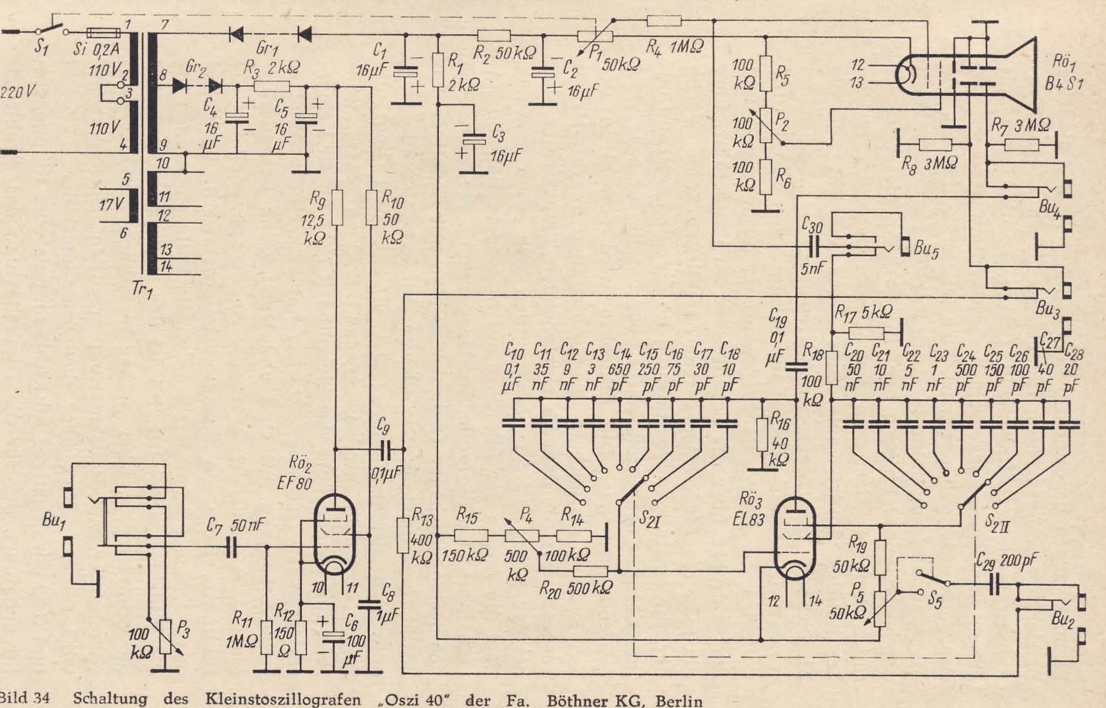


Bild 34 Schaltung des Kleinstoszillografen „Oszi 40" der Fa. Böthner KG, Berlin

klein. Dagegen benötigt die kleine Röhre relativ niedrige Betriebsspannungen. Auch die erforderlichen Ablenkspannungen sind verhältnismäßig gering, so daß man mit einem einstufigen Meßverstärker auskommt, der hier von der *EF 80 Rö 2* gebildet wird. Bu 1 ist der Y-Eingang. Die Meßspannungsamplitude läßt sich mit P 3 einstellen. Wird ein hochohmiger Eingang benötigt, so kann dieser Regler durch tieferes Einstecken des Eingangssteckers in die Schaltbuchse Bu 1 – allerdings unter Verzicht auf die Möglichkeit der Meßspannungsregelung – abgeschaltet werden. Die Eingangsimpedanz beträgt dann 1 MΩ. Über C 9 wird die verstärkte Meßspannung ausgekoppelt und der Bildröhre über die Schaltbuchse Bu 3 zugeführt, über die man die Meßplatten direkt anschließen kann. Wegen der nur einstufigen Verstärkung ist die Eingangsempfindlichkeit nicht sehr groß, reicht aber bereits für sehr viele Anwendungen aus. Die Bildröhre wird sowohl in der X-Ablenkung als auch in der Y-Ablenkung unsymmetrisch ausgesteuert; die dadurch entstehenden Trapezfehler sind bei der Röhre *B 4 S 1* noch tragbar. Wie schon erwähnt, liegt die Anode der Bildröhre auf Massepotential, die Katode führt also die volle Anodenspannung. Sie wird über den Netzgleichrichter Gr 1, demzufolge mit negativer Polarität, bereitgestellt. Die gleiche Anodenspannung speist auch den Kippgenerator *(Rö 3, EL 83)*, dort liegt die Anode über den Anodenwiderstand *R 16* an Masse, während die Katode über das Siebglied *R 1/C 3* an Gr 1 angeschlossen ist. Der Meßverstärker hat eine eigene Anodenstromversorgung mit Gr 2 und weist keine Besonderheiten auf. R 2 und C 2 sieben die Anodenspannung für die Bildröhre. Über ein Spannungsteilernetzwerk, bestehend aus P 1, R 5, P 2 und R 6, werden die Hilfsspannungen für die Bildröhre abgeleitet. P 1 ist der Helligkeitsregler, P 2 der Schärferegler. Über Buchse Bu 5 kann man das Bildröhrengitter zur Hellsteuerung erreichen. Normalerweise wird diesem Gitter über den Spannungsteiler *R 17/R 18* und *C 30* ein negativer Rückschlagimpuls vom Kippgenerator zugeführt, der für die Dunkeltastung des Strahlrück-

laufs sorgt. Die Dunkeltastung kann durch Einführen eines Blindsteckers in Bu 5 abgeschaltet werden. Über Bu 4 sind die X-Platten der Bildröhre zugängig. Ein Meßverstärker für die X-Ablenkung ist nicht vorgesehen. Frequenz- und Phasenmessungen sind daher mit dem *Oszi 40* nur schwer durchzuführen. Beim Anschluß an Bu 4 wird gleichzeitig der Kippgenerator abgetrennt, der über C 19 angekoppelt ist. Die theoretische Behandlung der Funktion der Kippschaltung geht über den Rahmen dieses Büchleins hinaus. In der einschlägigen Fachliteratur sind über diese an sich bekannte und bewährte Schaltung ausreichende Einzelheiten für den theoretisch interessierten Leser zu finden. Die eingangs genannte Bauanleitung für den *Oszi 40* bringt ebenfalls nähere Einzelheiten zu dieser Sägezahngeneratorschaltung, die auch in dem im Heft 18 dieser Reihe beschriebenen Oszillografen benutzt wird. Mit dem Stufenschalter $S\,2_{I,\,II}$ ist die Kippfrequenz grob wählbar. Die Feinregelung innerhalb des gewählten Bereichs erfolgt mit P 4. Synchronisiert wird dieser Generator über das Bremsgitter der Rö 3, und zwar normalerweise als „Eigensynchronisation" vom Ausgang des Meßverstärkers. Die Meßspannung wird dort zu diesem Zweck über R 13 abgegriffen und über Bu 2 und C 29 dem Synchrongradregler P 5 zugeführt. Wenn man P 5 zugedreht hat, dann ist S 5 geöffnet, und das Kippgerät arbeitet freilaufend unsynchronisiert. Über Bu 2 kann eine Fremdsynchronisation anstelle der Eigensynchronisation erfolgen.
An dieser sehr einfachen Schaltung sind bereits im Grundsätzlichen alle früher erwähnten Bestandteile und Funktionen eines Oszillografen erkennbar, wie ein Vergleich mit Bild 10 zeigt. Größere Oszillografen arbeiten im Prinzip ebenso. Der höhere Aufwand wird dort lediglich durch die Forderung nach Vielseitigkeit und guten, für alle Meßaufgaben ausreichenden technischen Daten bedingt. Nach dem im vorigen Kapitel Gesagten wird die Schaltung in ihren Grundzügen ohne weiteres verständlich sein. Auf ihrer Grundlage wiederum sind dann auch kompliziertere Oszillografenschaltungen zu verstehen. – Auf andere Schaltun-

gen oder Sonderausführungen, wie Zweistrahl-Oszillografen (sie besitzen Spezialbildröhren mit 2 Strahlsystemen, die gleichzeitig 2 Schwingungsvorgänge aufzeichnen, und können als 2 Oszillografen mit gemeinsamem Kippgenerator aufgefaßt werden), wird hier nicht eingegangen, da sie aufwandsmäßig und funktionsmäßig über den Amateursektor weit hinausgehen und sich hier auch nicht rentieren würden. Derartige Geräte bleiben den Industrielabors, Hochschul- und ähnlichen Instituten vorbehalten. Für diesen Benutzerkreis stehen eine ganze Reihe verschiedenster Oszillografen-Ausführungen, teils mit sehr weit getriebenem Aufwand, zur Verfügung. Die gleichzeitige Abbildung zweier Schwingungsvorgänge ist allerdings auch für den Amateur sehr wertvoll. Im Teil II werden hierfür zahlreiche Beispiele gebracht. Jedoch ist dieses Prinzip für Amateurzwecke weitaus einfacher mit Hilfe des Simultanschalters durchführbar, auf den unten näher eingegangen wird.

2.2. Einfache Festfrequenz-Rechteckgeneratoren

Die Rechteckschwingung ist ein außerordentlich vielseitiges Prüfsignal in der Oszillografentechnik. Sie kann – grob vereinfacht – als eine Sinusschwingung in der Frequenz der Rechteckschwingung, aber mit außerordentlich hohem Oberwellengehalt aufgefaßt werden. Eine Rechteckschwingung enthält also ein sehr breites Frequenzspektrum, dessen Betrag und Entstehen mathematisch genau definierbar ist. Wird eine solche Rechteckschwingung durch einen Prüfling – etwa einen beliebigen Verstärker – geleitet, so müssen sich die Eigenschaften dieses Prüflings, wie Frequenzgang, Unterdrückung oder Anhebung einzelner Frequenzen und ähnliches, im Kurvenbild der austretenden Rechteckspannung widerspiegeln. Das ist möglich, weil das Rechteck ja die betroffenen Frequenzen mit enthält und daher am Ausgang des Prüflings anders zusammengesetzt sein muß als an dessen Eingang.
Tatsächlich ermöglicht eine solche „Rechteckprüfung" die

Beurteilung und zumindest überschlägige Abschätzung einer ganzen Reihe von Eigenschaften des Prüflings zugleich. Damit erübrigen sich oft viele, sonst einzeln und mit großem Geräteaufwand durchzuführende Messungen. Ein mit einem Rechtecksignal gespeister Verstärker läßt aus den am Ausgang auftretenden Rechteckverformungen beispielsweise Rückschlüsse zu auf: Frequenzgang, Phasengang, Klirrfaktor, Übersteuerungs- und Einschwingerscheinungen.

Darüber hinaus sind Rechteckimpulse noch für viele andere Meßaufgaben sowie als Ursprungsform für andere Impulsformen erforderlich. Rechteckgeneratoren haben daher für die Oszillografentechnik besondere Bedeutung. Im folgenden werden zunächst 2 einfache Begrenzerschaltungen gezeigt, mit denen aus einer Sinusschwingung ausreichender Amplitude (etwa 200 V~) ein frequenzgleiches Rechteck gewonnen werden kann. Beide Schaltungen sind insbesondere für Speisung mit Netzfrequenz gedacht, können aber ebenso für andere Frequenzen benutzt werden, wenn diese mit ausreichender Spannung verfügbar sind.

2.2.1. Einfacher 50-Hz-Prüfsignal-Rechteckbegrenzer

Bild 35 zeigt eine einfache Schaltung. Die beiden Germaniumdioden sind mit je 1,5 V in Sperrichtung vorgespannt, wozu 2 Trockenelemente 1,5 V (Kleinstabbatterien) dienen. Diese Dioden bilden mit dem 200-kΩ-Widerstand einen Spannungsteiler. Die von Null ansteigende Sinusspannung tritt zunächst in voller Höhe an den Dioden auf, die ja gesperrt sind. Sobald sie den Wert 1,5 V erreicht hat, überwindet sie die Batteriespannung, so daß – je nach Polarität der Sinushalbwelle – eine der Dioden leitend wird. Die Spannung kann daher nicht mehr weiter ansteigen und bleibt während der gesamten Zeitdauer der Halbwelle auf dem Wert von 1,5 V. Bild 36 zeigt diesen Vorgang. Die Sinushalbwellen werden also durch die Dioden „abgekappt", ihre Spannungshöhe wird begrenzt. Jeweils beim Wert der Batteriespannung U_{B1} bzw. U_{B2} ergeben sich daher die Impulsdächer der Rechteckspannung, während

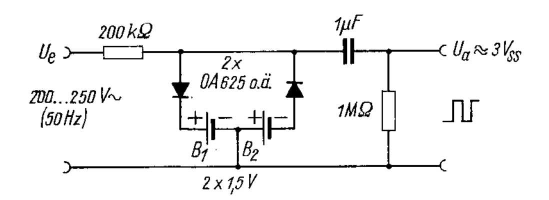


Bild 35 Einfacher Dioden-Begrenzer zur Ableitung einer 50-Hz-Rechteckspannung aus der Netzspannung

die Impulsflanken aus dem Verlauf der Sinuskurve der Eingangsspannung Ue in Nähe der Nulldurchgänge resultieren. Ist die Amplitude der Sinusspannung ausreichend hoch, so wird dieses Gebiet, wie Bild 36 erkennen läßt, sehr schnell durchlaufen, und es entstehen die erforderlichen steilen Impulsflanken. Die bei Ua abnehmbare Rechteckspannung hat dann bereits eine recht saubere Form. Sie muß (Bild 35) über die mit 1 μF relativ große Kapazität ausgekoppelt werden, weil kleinere Kapazitätswerte eine „Dachschräge" des Impulses bewirken würden. Das wird verständlich, wenn man bedenkt, daß das waagerechte Impulsdach, wie Bild 36 ebenfalls erkennen läßt, als eine für die Zeitdauer der Impulshalbwelle übertragene Gleichspannung aufgefaßt werden kann. Für die Zeitdauer dieser Halbwelle darf sich daher der Koppelkondensator nicht nennenswert aufladen, andernfalls würde die Spannung am Widerstand hinter ihm absinken und damit die im Oszillogrammbild erkennbar werdende Dach-

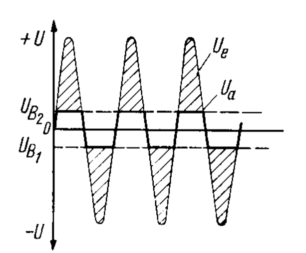


Bild 36
Wirkungsweise der Begrenzung. Durch „Abkappen" einer Sinusspannung hoher Amplitude dicht ober- und unterhalb der Nullinie ergibt sich eine annähernde Rechteckschwingung

schräge zustande kommen. Hieraus ergibt sich übrigens auch schon, daß beispielsweise die schlechte Übertragung tieferer Frequenzen in einem Verstärker aus dem gleichen Grunde als Verformung des Impulsdaches sichtbar würde. (Näheres dazu in Teil II.)

2.2.2. Rechteckbegrenzer mit Triode

Eine etwas vollkommenere Schaltung, die insbesondere steilere Impulsflanken und schärfere Impulskanten ergibt, ist mit einer beliebigen Triode nach Bild 37 möglich. Auch jede als Triode geschaltete Pentode ist geeignet. Diese Schaltung läßt sich insbesondere sehr gut nachträglich in einen Oszillografen einbauen, wo sie in Verbindung mit dem im nächsten Absatz beschriebenen Differenzierglied als Hellmarkengeber für 50-Hz-Marken sowie für sich allein als 50-Hz-Rechteckgeber dienen kann. Sie wird dann aus dem bereits vorhandenen Oszillografen-Netzteil mitgespeist.

Die Röhre arbeitet ohne Gittervorspannung, über einen hochohmigen Schutzgittervorwiderstand direkt von einer Anodenwicklung des Netztrafos mit etwa 200 bis 300 V Wechselspannung angesteuert. Die Röhre wird daher völlig übersteuert. Während der negativen Halbwelle ihrer Gitterwechselspannung ist sie gesperrt, während der positiven Halbwelle voll durchgesteuert. An ihrer Anode steht dadurch ein 50-Hz-Rechteck zur Verfügung, das sehr gute Flankensteilheit aufweist, da der Aussteuerbereich der Röhre wegen der großen Gitterwechselspannung sehr schnell durchlaufen wird. Rechteckform und Schaltungsfunktion sind infolgedessen von den Röhreneigenschaften sehr weitgehend unabhängig, so daß tatsächlich jede be-

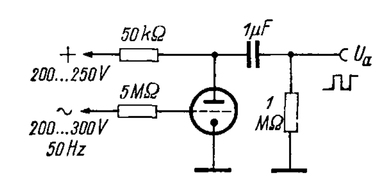


Bild 37
Einfacher Rechteckbegrenzer mit einer Triode

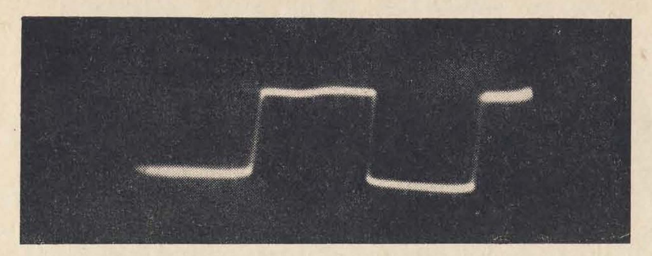


Bild 38 Die mit der Schaltung nach Bild 37 aus der Netzfrequenz gewonnene 50-Hz-Rechteckschwingung weist bereits recht gute Rechteckform auf

liebige Röhrentype dafür geeignet ist. Der 1-MΩ-Arbeitswiderstand hinter dem Auskoppelkondensator 1 μF kann als Potentiometer ausgebildet werden, womit die Rechteckamplitude zwischen 0 bis etwa 100 V regelbar ist. Bild 38 zeigt die Kurvenform des mit dieser Schaltung erzielten 50-Hz-Rechtecks.

2.3. Differenzierglied zur Umwandlung eines Rechteckimpulses in einen Nadelimpuls

Zum Erzeugen von Hellmarken für Oszillogramme benötigt man, wie bereits bei Bild 33 erklärt, Nadelimpulse. Sie werden aus Rechteckimpulsen durch ein einfaches RC-Koppelglied nach Bild 39 gewonnen. Die im Bild 33 sichtbaren Hellmarken wurden aus einem nach Bild 37 erzeugten Rechteckimpuls gemäß Bild 38 mit einem Differenzierglied nach Bild 39 erzeugt. Die prinzipielle Wirkungsweise

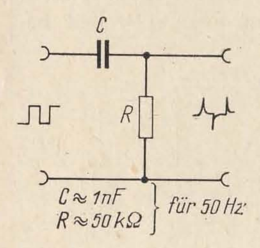
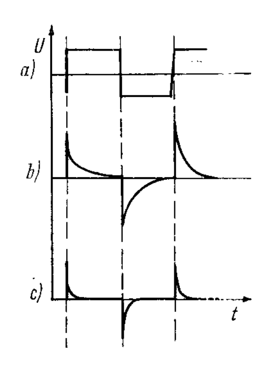


Bild 39
Differenzierglied zur Umwandlung von Rechteck- in Nadelimpulse. Das Produkt R·C ist je nach Frequenz und gewünschter Nadelimpulsbreite zu wählen. Eine für 50-Hz-Hellmarken günstige Dimensionierung ist angegeben

Bild 40
Zusammenhang zwischen Rechteck- und Nadelimpuls im Differenzierungsglied nach Bild 39; a) Rechteckimpuls, b) noch ungenügende Differentiation durch zu große Zeitkonstante R·C, c) durch Verringerung von R oder C wird die Impulsdauer kürzer. Die Impulse fallen mit den Flanken der Rechteckschwingung und damit – wenn man diese nach Bild 36 aus einer Sinusschwingung ableitet – mit den Nulldurchgängen der Sinuskurve zusammen



ist bereits am Ende des Abschnitts 2.2.1. erklärt worden. Während es dort darauf ankam, durch ausreichend groß bemessene Koppelkapazität einen Dachabfall des Impulses zu vermeiden, wird dieser hier bewußt durch eine klein gewählte Koppelkapazität C bewirkt. Die Zeitkonstante C · R des Differenzierglieds ist so gewählt, daß jedesmal beim „Umpolen" der Rechteckschwingung der Kondensator C sehr schnell umgeladen ist. Ein weiterer Stromfluß über ihn kann dann für die Dauer dieser Rechteckhalbwelle nicht mehr stattfinden. An R treten daher nur im Moment des Polaritätswechsels der Rechteckschwingung kurze Spannungsspitzen, eben die gewünschten „Nadelimpulse", auf. Oszillogrammfotos derartiger Impulse werden weiter unten noch gezeigt. Bild 40 verdeutlicht die Zusammenhänge. Bei a ist das ursprüngliche Rechteck gezeigt, bei b ein relativ breiter Nadelimpuls. Die allmählich abklingende Umladung des Kondensators C wird hier noch deutlich sichtbar. Bei weiterer Verkleinerung von C oder R (was die gleiche Wirkung hat, da bei gegebenem C die Umladung über einen kleineren Widerstand ebenfalls schneller vonstatten geht) verringert sich die Nadelbreite (Kurve c im Bild 40). Aus dem Gesagten ergibt sich weiter, daß die Nadelimpulsbreite unabhängig von der Frequenz des Rechtecks ist. Wird die Rechteckfrequenz zu hoch, so kann sich C nicht vollständig umladen, im Bild

40b würde dann die Spannung nicht bis zum Wert Null abklingen. Das Ergebnis wäre kein sauberer Nadelimpuls, sondern lediglich ein stark verformtes Rechteck. Daher ist die Dimensionierung für R und C in gewissem Maße abhängig von der Rechteckfrequenz. Eine im Verhältnis zu dieser Frequenz zu geringe Zeitkonstante (zu schmaler Nadelimpuls) hat auch keinen Sinn, da dann die daraus abgeleiteten Hellmarken im Oszillogramm zu schmal und damit schwer erkennbar werden. Eine für die Erzeugung von 50-Hz-Hellmarken günstige, auch für die Aufnahme (Bild 33) benutzte Dimensionierung für R und C ist im Bild 39 mit angegeben. Soll der Rechteckgenerator nach Bild 37 ausschließlich für die Erzeugung von Nadelimpulsen dienen, so kann natürlich das Differenzierglied unmittelbar an die Stelle des 1-μF-Kondensators und 1-MΩ-Widerstands im Bild 37 treten. – Jetzt ist auch erkennbar, weshalb die Hellmarken im Bild 33 exakt die Lage der Nulldurchgänge der Sinuskurve angeben. Aus der gleichen Netz-Sinuskurve wurde ja die Rechteckschwingung mittels Begrenzer nach Bild 37 abgeleitet. Wie Bild 36 erkennen läßt (das sinngemäß auch für die Schaltung nach Bild 37 gilt), stimmen die Rechteckflanken zwangsläufig mit den Nulldurchgängen der Sinuskurve überein. Mit diesen Impulsflanken wiederum fallen nach Bild 40 die Nadelimpulse zusammen, die daher stets im Moment des Nulldurchgangs der Sinusschwingung auftreten. Führt man sie dem Steuergitter der Bildröhre zu, so werden die betreffenden Hell- und Dunkelmarken an der entsprechenden Nullstelle der Sinuskurve sichtbar. Natürlich gilt das nur, wenn das Rechteck aus der gleichen, dem Oszillografen-Y-Eingang zugeführten Schwingung abgeleitet wird.

2.4. Eichspannungsquelle mit Glimmspannungsstabilisator

Eine der wichtigsten Meßaufgaben stellt die Bestimmung des Spannungswertes (der Amplitude) der Meßwechselspannung dar. Bekanntlich ist mit üblichen Voltmetern

eine einwandfreie Messung nur bei sinusförmigen Spannungen möglich, mit Röhrenvoltmetern darüber hinaus mit entsprechenden Tastköpfen gelegentlich noch die Spitzenspannungsmessung. Das Ausmessen von beliebig verlaufenden Kurvenformen oder einzelnen Teilen daraus ist jedoch ausschließlich auf oszillografischem Wege möglich. Man benutzt hierzu eine Vergleichsspannungsquelle. Im einfachsten Fall wird die Höhe der interessierenden Amplitude auf dem Bildschirm abgelesen und notiert, wozu ein Raster auf dem Bildschirm (durch Aufkleben von transparentem Millimeterpapier leicht nachträglich anzubringen!) gute Dienste leistet. Ein solcher Raster sollte auf keinem für ernsthafte Messungen benutzten Oszillografen fehlen. Anschließend wird anstelle der Meßspannung die Vergleichsspannung angeschlossen und auf gleiche Oszillogrammhöhe mit der Meßspannung eingeregelt. Ihr Wert ist dann gleich dem der Meßspannung und kann leicht bestimmt werden. Einfacher und genauer geht das, wenn Meßspannung und Vergleichsspannung zusammen abgebildet werden können, was z. B. mit dem später beschriebenen Simultanschalter möglich ist. Auf Einzelheiten dieses Meßverfahrens wird im Teil II eingegangen. Hier soll die Erzeugung einer geeigneten Vergleichsspannung behandelt werden.

Normalerweise eignet sich dafür schon die Netzwechselspannung, die mit bekannter oder bestimmbarer Größe einem Netztrafo entnommen werden kann. Günstiger ist es jedoch, die Vergleichsspannung von einem Glimmstabilisator abzunehmen. Erstens bleibt sie dann unabhängig von Netzspannungsschwankungen, es kann also auf ein Vergleichs-Voltmeter verzichtet und sehr einfach mit geeichtem Regler gearbeitet werden; der zweite, wichtigere Vorteil besteht jedoch in der Kurvenform dieser Vergleichsspannung, die das Ausmessen des Oszillogrammbilds der Meßspannung wesentlich erleichtert.

Bild 41 zeigt die Schaltung einer solchen Eichspannungsquelle. Über einen Vorwiderstand Rv wird der Glimmstabilisator St – für den jeder Typ mit 100 V Brennspan-

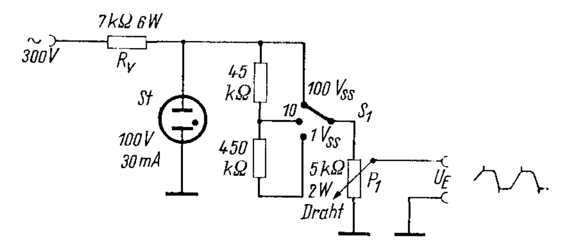


Bild 41 Eichspannungs-Erzeuger mittels Glimmstabilisator

nung geeignet ist, bei Änderung der Widerstandswerte auch für andere Brennspannungen – mit Wechselspannung betrieben. Die an ihm abfallende konstante Spannung wird dem von 0 bis 100 V geeichten Potentiometer P 1 zugeführt. Über S 1 kann zum Ausmessen kleinerer Spannungen die an P 1 abgreifbare Eichspannung U_E um den Faktor 10 beziehungsweise 100 verkleinert werden. Bild 42 zeigt die Kurvenform der Eichspannung U_E. Es handelt sich wieder um eine begrenzte Sinusspannung ähnlich Bild 36. Die Begrenzung kommt hier durch den Zündeinsatz des Stabis in jeder Halbwelle zustande. Da die Zündspannung bekanntlich etwas über der Brennspannung liegt, zeigen sich an den Impulsvorderkanten die für Glimmentladungen typischen Zündeinsatzspitzen. Nach erfolgter Zündung wird über die restliche Periode bis zum Punkt, da die Halbwelle die Brennspannung des Stabis unterschreitet, die Brennspannung gehalten. Die geraden Impulsdächer entsprechen daher genau der bekannten Stabi-Brennspannung. Wegen ihrer Geradlinigkeit eignen sie sich im Gegensatz zu einer normalen Sinusspannung (deren höchster Punkt im Oszillogramm wegen der flach verlaufenden Krümmung der Sinushalbwelle nicht immer leicht erkennbar ist) sehr gut als „Eichlinien" im Oszillogramm. Einige weiter unten und in Teil II gezeigte Bildbeispiele werden das veranschaulichen. Im Bild 42 ist übrigens noch gut die anfängliche Sinuskrümmung im Kurvenverlauf erkennbar, da die Begrenzung

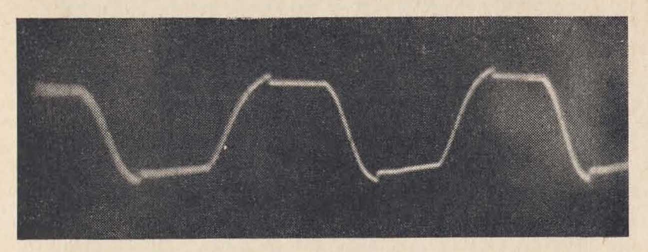


Bild 42 Kurvenform der Eichspannung U_E nach Bild 41. Die Zündeinrundung der Impulskanten zeigen sich

hier im Gegensatz zu den früher gezeigten Begrenzerschaltungen relativ spät (bei etwa ⅓ der Sinus-Scheitelspannung) einsetzt. Bild 43 zeigt, wie eine unbekannte Meßspannung – hier eine Sinusspannung höherer Frequenz – durch „Anlegen" der „Eichspannungskanten" an die Meßspannungskurve ausgemessen wird. Diese Aufnahme entstand mit Hilfe des im Abschnitt 2.7. beschriebenen Simultanschalters. Weist die Bildröhre ein vorgesetztes Raster auf, so bringt man die Eichspannungskurve anhand des Rasters nachträglich auf gleiche Größe mit der Meßspannung, was nur mit P 1 und S 1 (Bild 41) geschehen darf. Am Oszillografen wird während dieser Messung nichts verändert. An der Skala des geeichten Reglers P 1

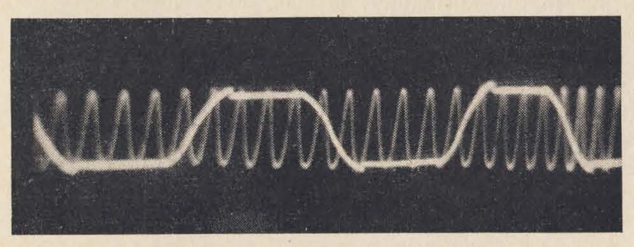


Bild 43 Beispiel für das Ausmessen einer unbekannten Spannung mit der Eichspannung aus Bild 42. Sie war auf gleiche Größe mit den zu messenden Kurvenpunkten gebracht. Diese Aufnahme erfolgte mit Simultanschalter

ist dann die Größe der Meßspannung unmittelbar ablesbar. Nähere Einzelheiten zur Durchführung dieser Messungen folgen im Teil II. Die Eichung des Reglers P 1 gestaltet sich in diesem Falle sehr einfach. Die Einrichtung wird mit Gleichspannung (!) betrieben. Bei U_E schließt man jetzt einen normalen hochohmigen Vielfachmesser oder ein anderes geeignetes Instrument an und zeichnet nach dessen Anzeige in den einzelnen Stellungen von P 1 die Skala. Mit Wechselspannung kann diese Eichung wegen der nicht sinusförmigen Spannung nicht vorgenommen werden! Die mit dieser Gleichspannungseichung erhaltene Skala gibt später unmittelbar die Amplitude der Meßspannung in Volt/Scheitelspannung an. Werden die bei der Eichung gefundenen Werte sofort mit dem doppelten Wert auf die Skala von P 1 aufgetragen, so ist später das Ablesen in dem bei der Impulstechnik gebräuchlicheren Maß in Vss (Spannung Spitze/Spitze des Oszillogramms) möglich. Eine genaue Definition der Begriffe Effektiv-, Scheitel- und Spitzenspannung wird im Teil II gegeben.

2.5. Rechteckgenerator für 40 Hz bis 30 kHz

Für die allgemeine Impulstechnik und die einschlägige Meßtechnik sind Rechteckschwingungen frei wählbarer Frequenz erforderlich. Sie werden mit einem Impulsgenerator (Rechteckgenerator) erzeugt. Ein solches Gerät gehört zu jedem Oszillografen-Meßplatz. Bild 44 zeigt die Schaltung für einen solchen Rechteckgenerator, der sich ausgezeichnet bewährt hat und alle im Amateur- und Werkstattbetrieb vorkommenden Anforderungen erfüllt. Er ist als katodengekoppelter Multivibrator (Rö 1) mit Begrenzerstufe und Katodenausgang (Rö 2) aufgebaut und mit 2 Doppeltrioden *ECC 81* bestückt. Man kann den Multivibrator vorteilhaft durch den im nächsten Abschnitt beschriebenen Impulsformer ergänzen und zweckmäßig mit diesem zu einem Gerät vereinigen. Der Netzteil weist keinerlei Besonderheiten auf, kann in üblicher Form auf-

gebaut werden (im Bild 44 wurde er der besseren Übersichtlichkeit wegen fortgelassen). Der Impulsgeber benötigt eine Anodenspannung von etwa 200 V/10 mA, die nicht stabilisiert zu sein braucht, aber reichlich bemessene Netzsiebung aufweisen soll.

Die Frequenz ist in 4 Bereichen grob wählbar, die Umschaltung geschieht mit einem 3teiligen Miniaturtastenschalter a, b, c. Der vierte Bereich ergibt sich, wenn alle Tasten ausgeklinkt sind. Mit Regler P 2 ist die Frequenz innerhalb des Bereichs fein wählbar. Für hohe Ansprüche empfiehlt es sich, diesen Regler zusätzlich noch über eine Untersetzung (üblicher Feintrieb) zu betätigen. Es ergeben sich folgende Frequenzen: Bereich a – 40 bis 240 Hz, b – 200 bis 1200 Hz, c – 1 bis 6 kHz, d – 5 bis 30 kHz. Die genaue Festlegung der Bereichsanfänge erfolgt bei der ersten Inbetriebnahme einmalig mit dem Einstellregler P 4. Im Hinblick auf bestimmte Sondermessungen, über die im Teil II berichtet wird, und auf den Impulsformer nach Abschnitt 2.6. (der beim Mustergerät unmittelbar mit dem Rechteckgenerator zusammengebaut wurde) weist der Generator eine Tastverhältnisregelung einfacher Art auf. Mit ihrer Hilfe kann das Impulstastverhältnis (Verhältnis der Zeitdauer oder Impulslänge der negativen zur positiven Impulshalbwelle) in den Grenzen 2 : 1 bis 1 : 1 bis 1 : 25 verändert werden. Diese Regelung beeinflußt mit Rücksicht auf eine einfache Schaltung allerdings die eingestellte Frequenz, da von ihr nur eine Impulshalbwelle in der Länge verändert und damit die Impulsfrequenz ebenfalls geändert wird. Die Skaleneichung an P 2 (dieser Regler kann eine große Zeigerskala bekommen) gilt daher nur für ein Tastverhältnis von annähernd 1 : 1. Mit Schalter S 1 kann zwischen diesem festen Tastverhältnis (das den Normalfall darstellt und für das die Frequenzzeichnung an P 2 gilt) und dem regelbaren Tastverhältnis gewählt werden. Die Tastverhältnisregelung erfolgt mit P 3. Während die Impulsfrequenz sich aus dem Wert von P 2 + P 4 und dem über Schalter a, b, c eingeschalteten Koppelkondensator ergibt, wird die Tastverhältnisrege-

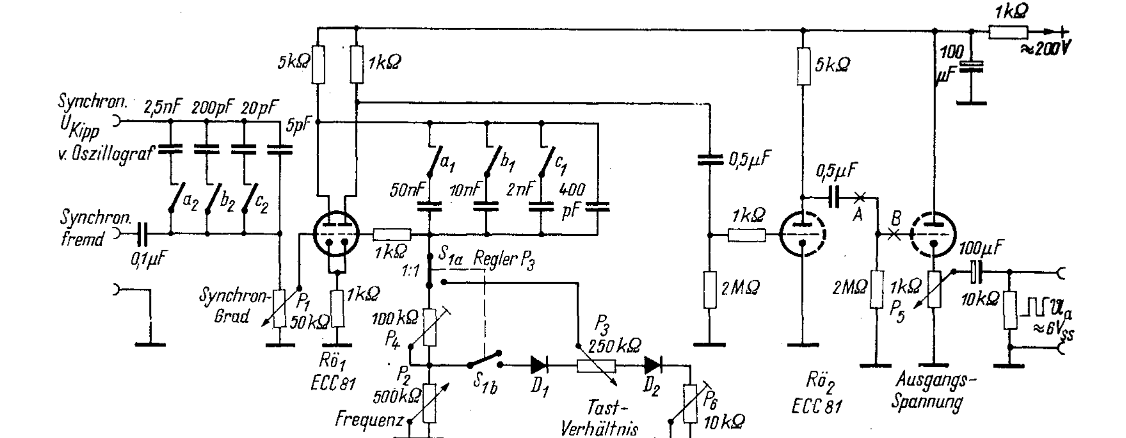


Bild 44 Schaltung des Rechteckgenerators. Der Netzteil entspricht den üblichen Ausführungen und kann beliebig aufgebaut werden. Bei A und B kann man den Impulsformer (Bild 50) einschalten

lung dadurch bewirkt, daß die durch P 2 vorgegebene Umladezeit nur noch für eine Halbwelle gilt. Diese wird über Diode 1 und S 1 b an P 2 weitergeleitet. Die andere Halbwelle gelangt jetzt über P 3, D 2 und den Einstellregler P 6 unmittelbar nach Masse; für diese Halbwelle ergibt sich daher je nach Stellung von P 3 eine bedeutend kürzere Umladezeit. P 6 wird dabei einmalig so eingestellt, daß sich in rechter Endstellung von P 3 (der in Tastverhältnissen 2 : 1 bis 1 : 25 geeicht werden kann) ein möglichst großes Tastverhältnis ergibt, ohne daß der Multivibrator ganz aussetzt. Als Dioden kommen nur die *OA 705* oder ähnliche, hochsperrende Dioden in Frage, auch eine Röhre *EAA 91* ist gut geeignet. Allerdings sind Germaniumdioden im Hinblick auf eine gute Impulsform bei hohen Frequenzen günstiger, da sie weniger Verdrahtungs- und Streukapazitäten einbringen als eine Röhre.
Der katodengekoppelte Multivibrator hat ein freies Gitter, das vorteilhaft zu Synchronisationszwecken benutzt werden kann. Hierfür wurde der Synchrongradregler P 1 sowie der Eingang „Synchron fremd" vorgesehen. Über ihn kann der Generator, wenn ein frequenzkonstantes Rechteck genau definierter Frequenz erforderlich ist, von einem Tongenerator synchronisiert werden. Bekanntlich sind Multivibratoren im freilaufenden Zustand nicht allzu frequenzkonstant. Allerdings werden für die meisten Messungen an die Konstanz der Rechteckfrequenz auch keine allzu hohen Anforderungen gestellt. Wichtiger ist meist, daß Rechteckgenerator und Oszillograf streng synchron laufen, um ein einwandfrei stehendes Oszillogramm zu erhalten. Der Synchronzwang beim Oszillografen ist aus den früher bereits genannten Gründen begrenzt. Darum wird es oft vorteilhafter sein, nicht den Oszillografen vom Impulsgenerator synchronisieren zu lassen, sondern umgekehrt diesen von der Oszillografen-Kippspannung. Man kann dann den Impulsgenerator über weite Frequenzbereiche synchron mit dem Kippgerät halten. Selbst bei Änderungen der Kippfrequenz um den Faktor 2 bis 3 wird in diesem Fall noch ein stehendes Bild gehalten. Der

Rechteckgenerator „springt" ganz einfach auf das nächsthöhere oder -niedrigere Frequenzverhältnis um, das heißt, bei Verstellen der Kippfrequenz am Oszillografen erscheinen beispielsweise anstatt 3 Impulsen plötzlich 4 oder 5 oder nach der anderen Seite 2 Impulse oder nur 1 Impuls, ohne daß zwischendurch das Bild wegläuft. Das bringt eine nicht zu unterschätzende Bedienungsvereinfachung mit sich. Der Rechteckgenerator hat für diesen Zweck einen zweiten Synchroneingang „Synchron-U_{Kipp}", an den die Kippspannung vom Oszillografen – die dort fast immer für derartige Zwecke abgreifbar ist – gelegt wird. Je nach Rechteckfrequenz führt man sie zur genaueren Synchronisation auf den Strahlrücklaufmoment zu, und zwar über ein ungleich mit der Frequenzbereichswahl über a, b, c_2 eingeschaltetes Koppel-C. Am Synchrongradregler stehen dann jeweils im Strahlrücklaufmoment nadelähnliche Synchronimpulse zur Verfügung. Diese Einrichtung hat sich in der Praxis ausgezeichnet bewährt.

Das vom Multivibrator abgenommene Rechteck gibt man zwecks Verbesserung der Impulsform auf eine Begrenzerstufe. Von ihr aus gelangt der Impuls zur Katodenausgangsstufe, an deren Katode er über den Impulsamplitudenregler P 5 mit 0 bis 6 Vss abnehmbar ist. Der mit 100 μF (Mindestgröße, besser 500 μF!) bemessene Koppelkondensator im Ausgang darf mit Rücksicht auf gerade Impulsdächer nicht kleiner sein. Zwischen Begrenzer und

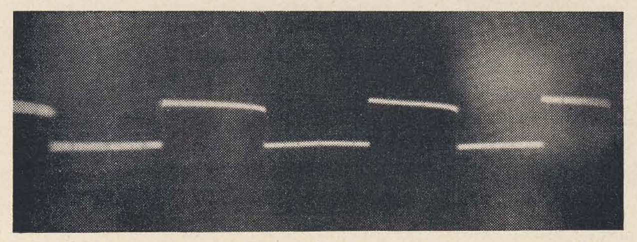


Bild 45 Am Ausgang des Rechteckgenerators abgegebenes Rechteck mit der Frequenz von 40 Hz. Die Flanken sind so steil, daß man sie auch im Originalbild nicht erkennen kann

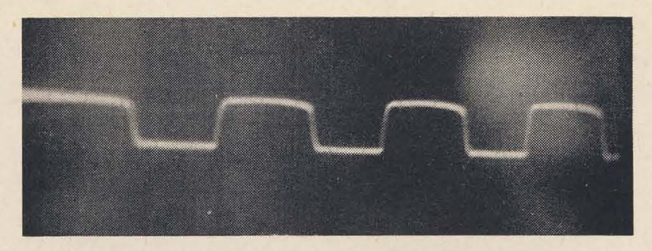


Bild 46 Unter gleichen Bedingungen aufgenommenes 25-kHz-Rechteck. Jetzt sind die Flanken erkennbar, und erste Anzeichen von Verrundung der Impulskanten zeigen sich

Katodenausgang kann bei A und B der im nächsten Abschnitt gezeigte Impulsformer eingefügt werden.
Einige Oszillogrammfotos beweisen die Leistungsfähigkeit dieses Geräts. Bild 45 zeigt die am Ausgang abgegebene Rechteckschwingung in Stellung 1 : 1 des Schalters S 1 bei einer Frequenz von 40 Hz. Es tritt hierbei noch keine wesentliche Dachschräge auf. Die Impulsflanken sind so steil, daß sie im Oszillogramm trotz verstärkter Helligkeitseinstellung nicht sichtbar werden. Bild 46 zeigt ein 25-kHz-Rechteck bei sonst gleicher Einstellung. Die Rechteckflanken sind jetzt bereits sichtbar, die Rechteckform ist bis auf die andeutungsweise verrundeten Impulsvorderkanten noch immer einwandfrei. Ein solches Rechteck genügt allen im niederfrequenten Gebiet auftretenden Meßaufgaben. Für Untersuchungen der Impulstechnik im hochfrequenten Bereich (Video-Impulsmessungen) ist dieses Gerät von vornherein nicht ausgelegt, mit derartigen Untersuchungen hat der Amateur innerhalb eines Sektors praktisch nichts zu tun. Eine wesentliche Aufwandssteigerung dafür lohnt also nicht. Bild 47 zeigt ein 1-kHz-Rechteck, dessen Impulstastverhältnis mit P 3 auf 1 : 2 eingeregelt wurde. Die negative Impulshalbwelle ist jetzt doppelt so lang wie die positive. Bild 48 gibt den gleichen 1-kHz-Impuls wieder, eingestellt auf das Tastverhältnis 1 : 10, Bild 49 das Tastverhältnis 1 : 30 des gleichen Impulses (P 3 am rechten Anschlag). Bei diesem extremen,

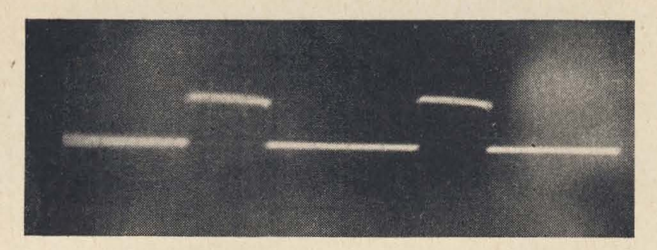


Bild 47 1-kHz-Rechteck mit auf 1 : 2 eingestelltem Tastverhältnis. Die negative Impulshalbwelle ist doppelt so lang wie die positive

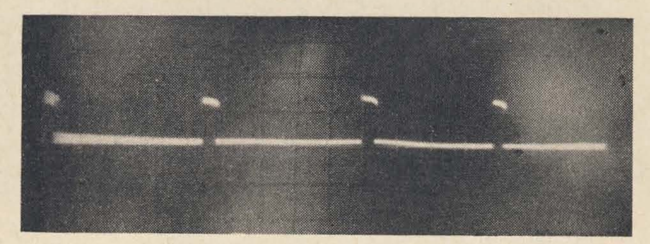


Bild 48 Wie Bild 47, Tastverhältnis 1 : 10

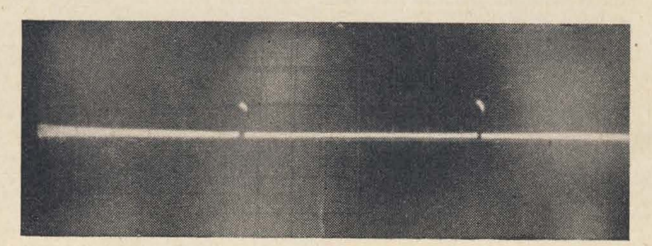


Bild 49 Wie Bild 47, Tastverhältnis 1 : 30

über die vorgesehene Grenze bereits hinausgehenden Testverhältnis macht sich ein erster, geringer Dachabfall im positiven Impulsdach bemerkbar, während das negative Impulsdach – hier besser als Nullinie anzusehen – völlig linear verläuft. Auch die Flankensteilheit ist noch immer so, daß die Impulsflanken unsichtbar bleiben. Diese Fotos

zeigen, daß sich mit einfachen Mitteln Impulsformen erzielen lassen, die denen industrieller Impulsgeneratoren zumindest im niederfrequenten Bereich nicht wesentlich nachstehen und auch für kompliziertere Meßaufgaben im Amateurbereich bei weitem genügen. Beim Aufbau dieses Generators ist wie bei allen Impulsgeräten auf kürzestmögliche und kapazitätsarme Verdrahtung zu achten. Der gesamte Aufbau erfolgt hinsichtlich der Leitungsführung und Teleanordnung nach HF-technischen Gesichtspunkten. Es ist zu bedenken, daß ein Gerät, das einen 30-kHz-Impuls noch einwandfrei übertragen soll, einen bis wenigstens 500 kHz linearen Frequenzgang aufweisen muß! Ähnliches gilt zur Vermeidung von Dachabfällen bei niederfrequenten Impulsen für die untere Frequenzgrenze. Für die einwandfreie Übertragung eines 40-Hz-Impulses darf sie nur wenig über 1 Hz liegen! Dies drückt sich vorwiegend in der ungewohnt großen Dimensionierung aller Koppelkondensatoren aus. Diese Gesichtspunkte gelten auch für die in den nächsten Abschnitten beschriebenen Geräte.

2.6. Impulsformer als Zusatz zum Rechteckgenerator

Für bestimmte Messungen sind außer den Rechteckimpulsen noch andere Impulsformen erforderlich, wie beispielsweise die schon bekannten Nadelimpulse, wahlweise mit positiver oder negativer Polarität, Rechteckimpulse mit veränderlicher Flankensteilheit (mit regelbarer Impulsanstiegs- und -abfallzeit), Trapez-, Dreieck- und Sägezahnimpulse, letztere mit positiver oder negativer Polarität. Alle diese Impulse können mit dem nun beschriebenen Impulsformer aus einem vom Rechteckgenerator erzeugten Rechteckimpuls in der gewünschten Frequenz erzeugt werden. Bild 50 zeigt die Schaltung dieses Impulsformers. Er ist als Zusatz zu dem vorher behandelten Rechteckgenerator gedacht und wird aus dessen Netzteil mitversorgt. Die Schaltung nach Bild 50 ist in Bild 44 bei A und B einzufügen. Will man den Impulsformer als selbständiges

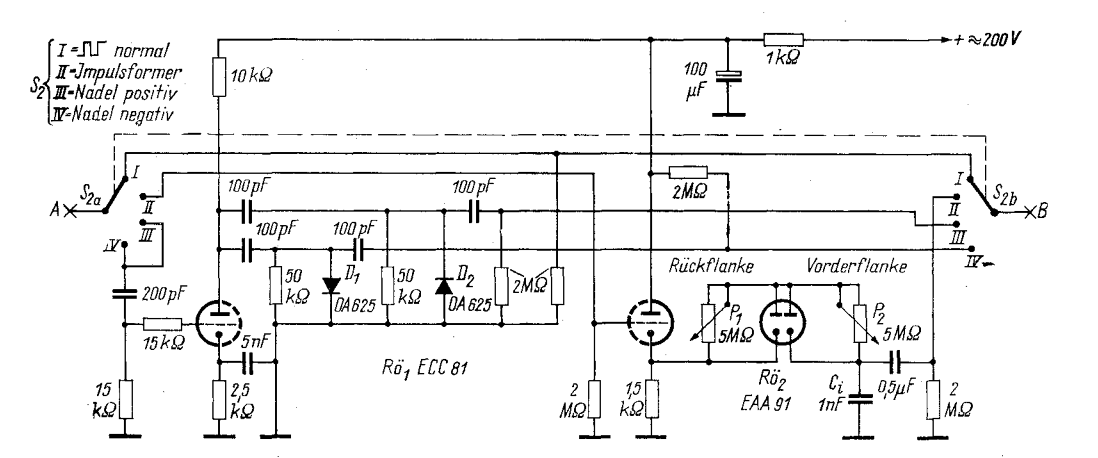


Bild 50 Schaltung des Impulsformers. Er wird im Rechteckgenerator bei A und B eingeschaltet (Bild 44) und aus dessen Netzteil mitgespeist

Gerät zusätzlich zu einem schon vorhandenen Rechteckgenerator aufbauen, dann muß ihm eine Begrenzerstufe analog der im Bild 44 vorgesetzt sowie ein Katodenausgang, ebenfalls nach Bild 44, nachgesetzt werden. Mit Schalter S 2 wählt man die verschiedenen Betriebsarten. In Stellung I wird der Impulsformer umgangen, am Ausgang des Rechteckgenerators steht daher das unveränderte Rechteck zur Verfügung. In Stellung II ist die Impulsflankenregelung eingeschaltet. Von A gelangt das Rechteck über S 2a, Stellung II, zu einer Impedanzwandlerstufe (rechtes Triodensystem der Rö 1), die für den für das Integrierglied erforderlichen, niedrigen Quellwiderstand sorgt. Mit P 1 ist jetzt die Impulsrückflanke regelbar, mit P 2 getrennt davon die Vorderflanke. Der Originalimpuls bleibt erhalten, wenn diese beiden Regler auf Null stehen. Beide Diodenstrecken der Rö 2 *(EAA 91;* Halbleiterdioden hier wegen der erforderlichen, sehr großen Sperrwiderstände nicht geeignet!) sind dann überbrückt. Am Integrierkondensator C_i tritt daher wegen des niedrigen Quellwiderstands der Impedanzwandlerstufe der unveränderte Impuls auf. Es sei nun angenommen, daß zunächst P 1 um einen gewissen Betrag aufgeregelt wird. Für die eine Impulshalbwelle – die Vorderflanke – ist dieser Regler durch die ihm parallelliegende Diodenstrecke nach wie vor überbrückt. Für die gegenläufige Halbwelle sperrt die Diode, und der Regler wird wirksam. Über ihn kann sich der Integrierkondensator C_i jetzt nicht mehr sofort, sondern nur allmählich umladen, die entsprechende Halbwelle wird daher verflacht. Das gleiche gilt für Regler P 2, wegen der umgekehrten Diodenpolung aber für die andere Impulsflanke. Je nach Stellung von P 1 und P 2 sind also die Anstiegszeiten beider Impulsflanken getrennt und in weitem Bereich regelbar. Die sich an C_i ergebende Impulsform wird über ein Koppelglied abgegriffen und über S 2b dem Katodenausgang des Rechteckgenerators zugeführt.

In Stellung III und IV von S 2 werden Nadelimpulse mit einer konstanten Impulsbreite von etwa 10 μs (entspricht umgerechnet etwa 100 kHz!) erzeugt, und zwar in Stel-

lung III mit positiver, in Stellung IV mit negativer Polarität am Ausgang des Rechteckgenerators.
Über ein hinter S 2a, Stellung III/IV, liegendes Differenzierglied 200 pF/15 kΩ erfolgt zunächst eine Differentiation des Rechtecks zu einem nadelähnlichen Impuls analog der Wirkungsweise der Schaltung Bild 39. Am Gitter der Verstärkerstufe Rö 1 (linkes System) steht dann eine Impulsfolge etwa nach Bild 40b, die zunächst noch die Impulse beider Polaritäten enthält. Da durch die vorangegangene und die nachfolgende zweite Differentiation ein Spannungsverlust erfolgt, ist diese Stufe notwendig, um wieder die ursprüngliche Spannungshöhe am Ausgang zu erhalten. Von der Anode dieser Stufe werden die Nadelimpulse abgenommen und zwecks Verringerung der Nadelbreite auf den gewünschten Wert nochmals differenziert, und zwar getrennt für beide Polaritäten durch die RC-Differenzierglieder 100 pF/50 kΩ an der Anode der Verstärkerstufe Rö 1. Dem jeweiligen 50-kΩ-Widerstand liegt jetzt noch eine Germaniumdiode parallel, die die Impulse der jeweils nicht gewünschten Polarität kurzschließt. An D 2 treten daher nur die positiven Nadelimpulse, an D 1 die negativen Nadelimpulse auf. Sie sind über den jeweiligen 100-pF-Trennkondensator am Stufenkontakt III oder IV des Schalters S 2b abgreifbar. Zu beachten ist dabei, daß dieser Schaltkontakt über B unmittelbar an das Röhrengitter der Katodenausgangsstufe im Rechteckgenerator (Bild 44) führt. An den einzelnen Schalterkontakten von S 2b sind daher noch die jeweiligen Gitterableitwiderstände für diese Stufe im Wert von 2 MΩ angeschlossen. Das hat folgenden Grund: Für die Abnahme der negativen Nadelimpulse empfiehlt sich eine leicht positive Vorspannung der Ausgangsstufe. Das vergrößert für diese Impulspolarität den Aussteuerbereich und verhindert gleichzeitig das Auftreten der unerwünschten Impulse positiver Polarität am Ausgang, da die Ausgangsröhre für diese Polarität dann bereits voll aufgesteuert ist. Der Gitterableitwiderstand für Schaltstufe IV liegt deshalb nicht an Masse, sondern an der positiven Anodenspannung,

sämtliche Gitterwiderstände – um diese Umschaltung zu ermöglichen – vor dem Schalter S 2b.
Auch beim Aufbau dieses Geräts ist auf gute Siebung der Anodenspannung und auf ihre Entkopplung gegen den Rechteckgenerator zu achten. Im übrigen gilt wieder das am Ende des vorigen Abschnitts Gesagte.
Die Oszillogrammfotos unterstreichen die Wirksamkeit des Impulsformers:

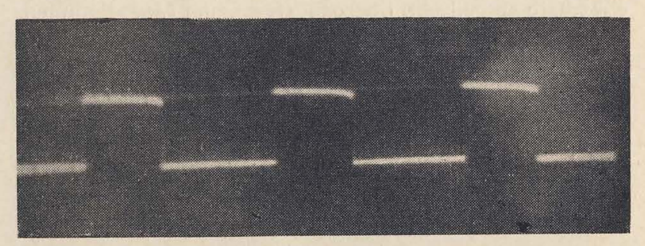


Bild 51 1-kHz-Rechteck von Impulsformer, Stellung II. P 1, P 2 = 0

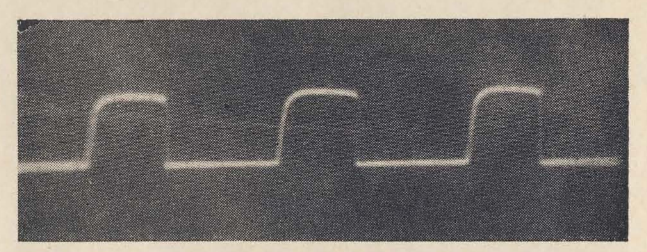


Bild 52 Wie Bild 51, Vorderflanken mit P 2 leicht verrundet

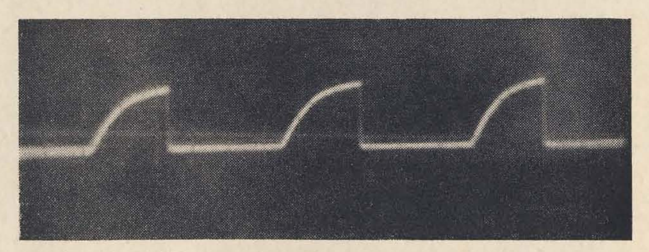


Bild 53 Wie Bild 52, P 2 weiter aufgedreht

Bild 51 gibt ein 1-kHz-Rechteck wieder, das in Stellung II von S 2 sowie von den auf Null stehenden Reglern P 1 und P 2 des Impulsformers übertragen wird.

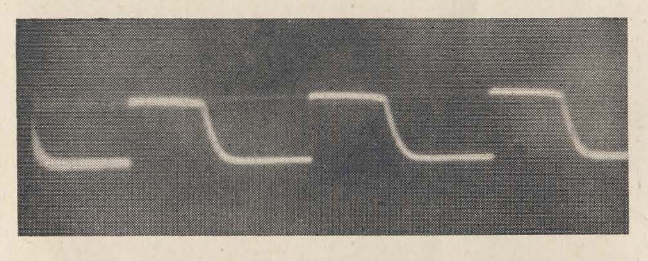
Bild 52 zeigt das gleiche Rechteck, Regler „Vorderflanke" nur wenig aufgedreht. Die Impulsvorderkante erscheint jetzt merklich gerundet, die Vorderflanke wird sichtbar. Die Rückflanke ist unverändert.

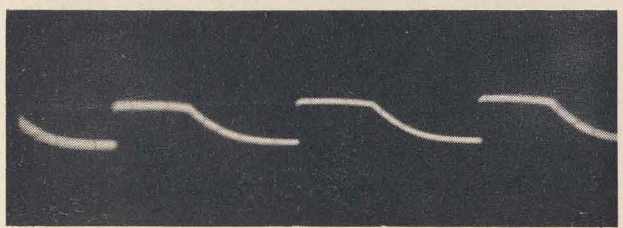
Bild 53 zeigt den gleichen Impuls, Regler „Vorderflanke" etwa halb aufgedreht. Übergangsform zum Sägezahnimpuls mit positiver Polarität.

Bild 54: Regler „Vorderflanke" wieder auf Null, Regler „Rückflanke" gering aufgedreht. Jetzt gilt für die Verformung der Rückflanke das bei Bild 52 Gesagte.

Bild 55: Regler „Rückflanke" etwa zur Hälfte aufgedreht. Übergangsform zum negativen Sägezahnimpuls.

Bild 56: Beide Regler wenig aufgedreht. Diese Impulsform entspricht etwa einer Verformung, wie sie ein Ver-



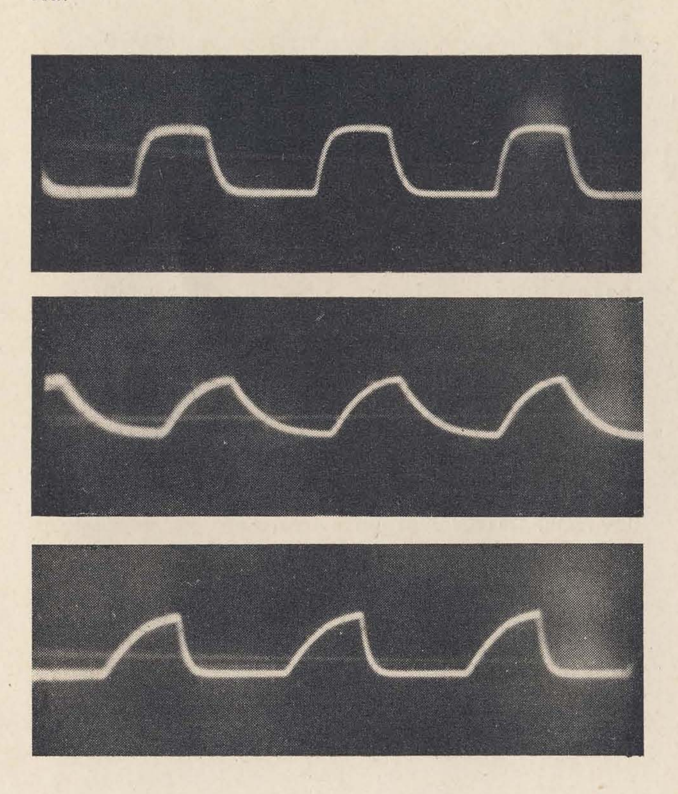


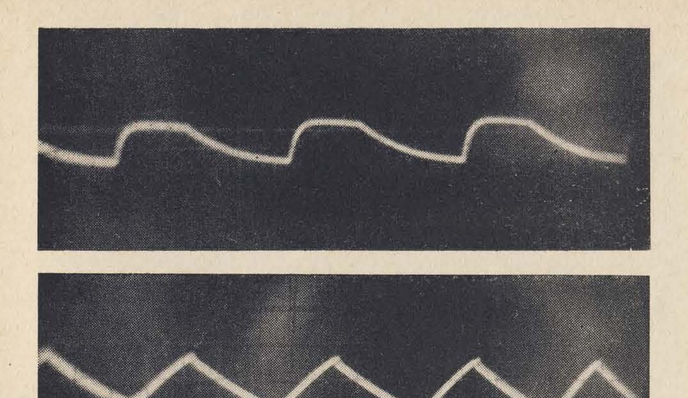
Bilder 54/55 Das gleiche für die Rückflanke mittels P 1

stärker mit im unteren Frequenzbereich linearem Frequenzgang, aber einem Höhenabfall im Bereich der höchsten Tonfrequenzen hervorrufen würde.

Bild 57: Wie Bild 56 – beide Regler bis knapp zur Mitte aufgedreht. Übergang zur Form des Dreieckimpulses. Deutlich ist zu erkennen, daß diese Kurvenform sich aus den Kurvenbildern 53 und 55 zusammensetzt.
Einige weitere Reglerkombinationen zeigen die folgenden Oszillogramme.

Bild 58: Vorderflanke stark, Rückflanke schwach verschliffen.





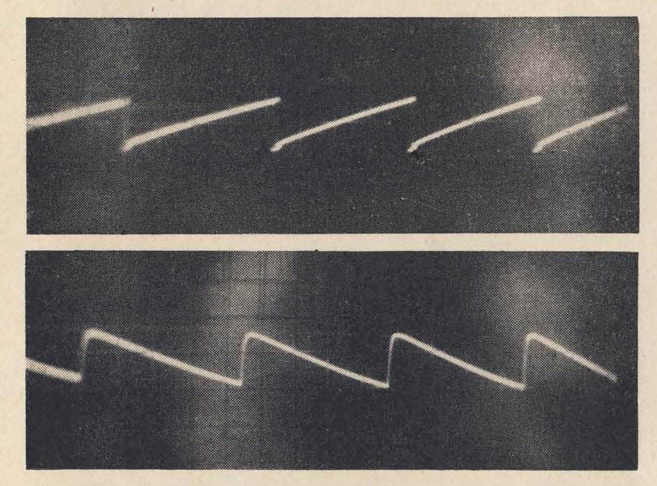
Bilder 56 bis 60. Weitere auf diesem Weg erzielte Impulsformen

Bild 59: Vorderflanke schwach, Rückflanke stark verschliffen.

Bild 60: Echter Dreieckimpuls, erreicht durch extremes Verschleifen beider Flanken (beide Regler voll aufgedreht). Diese Kurvenform geht unmittelbar aus Bild 57 hervor.

Eine echte Sägezahnschwingung mit ausreichend kurzer Rücklaufzeit (wie im Bild 4 dargestellt) ist mit dem Impulsformer allein nicht erreichbar. Der Grund ist aus Bild 4 erkennbar. Für eine gute Sägezahnform muß die Rückschlagzeit t 2 gegenüber der Anstiegzeit t 1 möglichst klein sein. Das bedingt ein entsprechend großes Tastverhältnis der Ursprungsschwingung. Damit ist der Weg zur Einstellung einer Sägezahnschwingung gezeigt: Am Rechteckgenerator wird das – auch zu diesem Zweck regelbar gemachte – Tastverhältnis von 1 : 1 auf etwa 1 : 25 oder mehr geändert. Dieses unsymmetrische Rechteck kann dann mit dem Impulsformer zu einem recht brauchbaren Sägezahn umgewandelt werden, indem entweder die Anstiegszeit oder die Abfallzeit des jetzt recht schmalen

Rechteckimpulses so weit verschliffen wird, daß sie ausreichend linear erscheint. Bild 61 zeigt diese Einstellung für einen positiven, Bild 62 für einen negativen Sägezahn von 1 kHz, erzeugt durch Einstellung eines Tastverhältnisses von 1 : 25 und starke Verschleifung der Vorderflanke (Bild 61) beziehungsweise der Rückflanke (Bild 62). Mit Hilfe dieser relativ einfachen, insgesamt nur 4 Röhren umfassenden Ausrüstung nach Bild 44 und 50 ist also tatsächlich fast jede praktisch erforderliche Kurvenform zu erzeugen. Die weiteren Bilder zeigen die vom Impulsformer abgegebenen Nadelimpulse. Da ihre Impulsbreite mit $t \approx 10\,\mu s$ konstant ist, erscheinen sie im Oszillogrammbild um so breiter, je höher die Ausgangsfrequenz ist. Bild 63 stellt den positiven Nadelimpuls bei einer Frequenz von 1 kHz dar. Er ist bei dieser Frequenz noch so schmal, daß er infolge der dadurch hohen Strahl-Schreibgeschwindigkeit und geringen Leuchtkraft selbst bei über-



Bilder 61/62 Durch Einstellung einer Dreieckschwingung mit dem Impulsformer nach Bild 60 und Veränderung des Rechteck-Tastverhältnisses auf 1 : 20···30 können positive oder negative Sägezahnschwingungen guter Linearität eingestellt werden

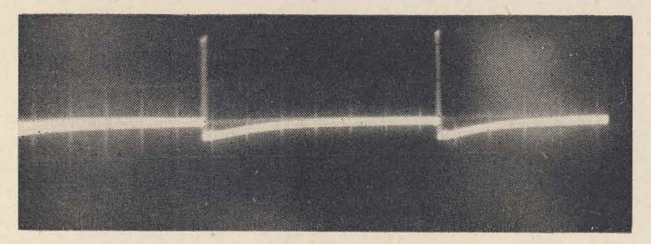


Bild 63 Positiver Nadelimpuls vom Impulsformer bei 1-kHz-Rechteckfrequenz

mäßiger Steigerung der Strahlhelligkeit (im Bild 63 an der übermäßig dicken Nullinie erkennbar) nur gerade knapp erkennbar wird. Bild 64 zeigt den negativen Nadelimpuls unter gleichen Bedingungen. Ihm haftete beim Mustergerät noch ein kleiner Überschwinger an (kurzes Durchtauchen der Nadel in den positiven Bereich und kurz danach nochmalige winzige negative Spitze), der aber praktisch nicht stört und daher nicht näher untersucht wurde. Bild 65 zeigt wiederum die positive Nadel, jetzt bei einer Frequenz von 14 kHz. Entsprechend der jetzt höheren Kippfrequenz des Oszillografen erscheint die Nadel auseinandergezogen und gut erkennbar. Ihr tatsächlicher Verlauf kann hier verfolgt werden. Das gilt auch für Bild 66, das die negative Nadel ebenfalls bei 14 kHz zeigt. Der in Bild 64 noch andeutungsweise bemerkbare Überschwinger

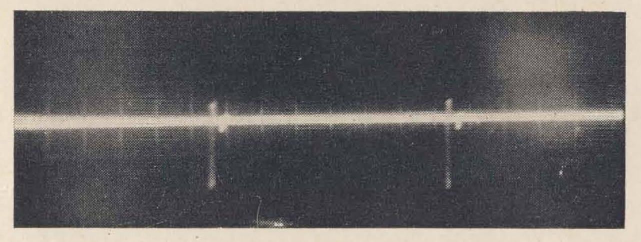
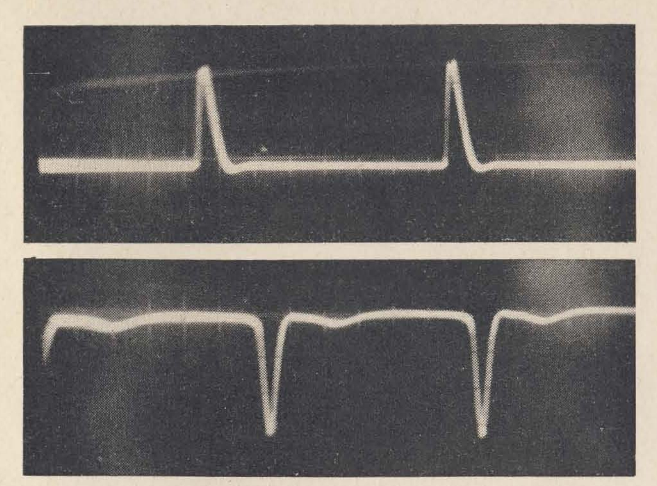


Bild 64 Wie Bild 63 negativer 1-kHz-Nadelimpuls, hier mit einem leichten Überschwinger behaftet



Bilder 65/66 Positiver und negativer Nadelimpuls bei einer Rechteckfrequenz von 14 kHz

ist nun nahezu verschwunden, nur die leichte Eindellung der Nullinie rechts neben der Nadel deutet noch darauf hin. Die Nadelimpulsformen entsprechen also auch bei dieser schon relativ hohen Impulsfrequenz noch allen Anforderungen.

2.7. Simultanschalter zur gleichzeitigen Darstellung zweier Schwingungsvorgänge

Die Möglichkeit der gleichzeitigen Abbildung zweier Schwingungen auf dem gleichen Bildschirm hat zahlreiche Vorteile, die man wohl dann erst voll abschätzen kann, wenn man einige Zeit nach diesem Prinzip gearbeitet hat. Es gibt für diese Zwecke spezielle Zweistrahl-Oszillografen, deren Bildröhren 2 getrennte Strahlsysteme im gleichen Kolben haben. Derartige Geräte sind für den Amateur zu aufwendig. Dagegen ist für ihn eine andere Möglichkeit durchaus realisierbar. Unter Berücksichtigung der Trägheit des menschlichen Auges genügt es, die beiden Oszillo-

gramme in schnellem Wechsel nacheinander abzubilden, so daß sie scheinbar neben- oder übereinander stehen. Sie lassen sich auf diese Weise unmittelbar miteinander vergleichen. Prinzipiell kann das durchgeführt werden, indem man den Y-Eingang des Oszillografen in schnellem Wechsel zwischen den beiden darzustellenden Meßspannungsquellen umschaltet. Eine solche Umschaltung kann natürlich nicht von Hand vorgenommen werden, auch scheiden mechanische Kontakte in jedem Falle aus. Man benutzt hierfür sogenannte Simultanschalter, auch elektronische Verstärker-Umschalter genannt. Im Prinzip bestehen sie stets aus 2 Schaltröhren, die anodenseitig parallelgeschaltet sind. An ihren Anoden ist der Y-Eingang des Oszillografen anzuschließen. Jedem Röhrengitter wird eine der Meßspannungen zugeführt. Eine zweite Baugruppe im Simultanschalter – ein Multivibrator – sorgt dafür, daß wechselseitig immer eine der beiden Röhren gesperrt und die andere in Tätigkeit ist. Diese beiden Röhren, die gleichzeitig eine willkommene, zusätzliche Verstärkung der Meßspannung bewirken, werden wegen ihrer Funktion als Schalter auch als „Schaltstufen" bezeichnet. Für den Betrieb des die Umschaltung bewirkenden Multivibrators gibt es nun prinzipiell wieder 2 verschiedene Lösungen. Einmal kann der Multivibrator frei laufen, das heißt mit beliebig einstellbarer Frequenz die Umschaltung vornehmen. Die Umschaltung erfolgt dann im sichtbaren Bild. Wenn das Oszillogramm dabei nicht zerrissen wirken soll, muß die Umschaltfrequenz bedeutend über der Kippfrequenz liegen (mindestens 1 bis 2 Größenordnungen höher!), was besonders bei höheren Kippfrequenzen nicht ganz einfach zu realisieren ist. Obwohl diese Variante in der Literatur zur Zeit noch vorherrscht, sei dem Amateur aus der Praxis des Verfassers davon abgeraten. Schaltungs- und aufbaumäßig einfacher, dabei betrieblich weit günstiger wirkt sich die zweite Variante aus, nach der der Multivibrator nicht selbständig läuft, sondern als „bistabiler Multivibrator" geschaltet ist. Er wird von den Rücklaufimpulsen der Kippspannung des Oszillografen synchroni-

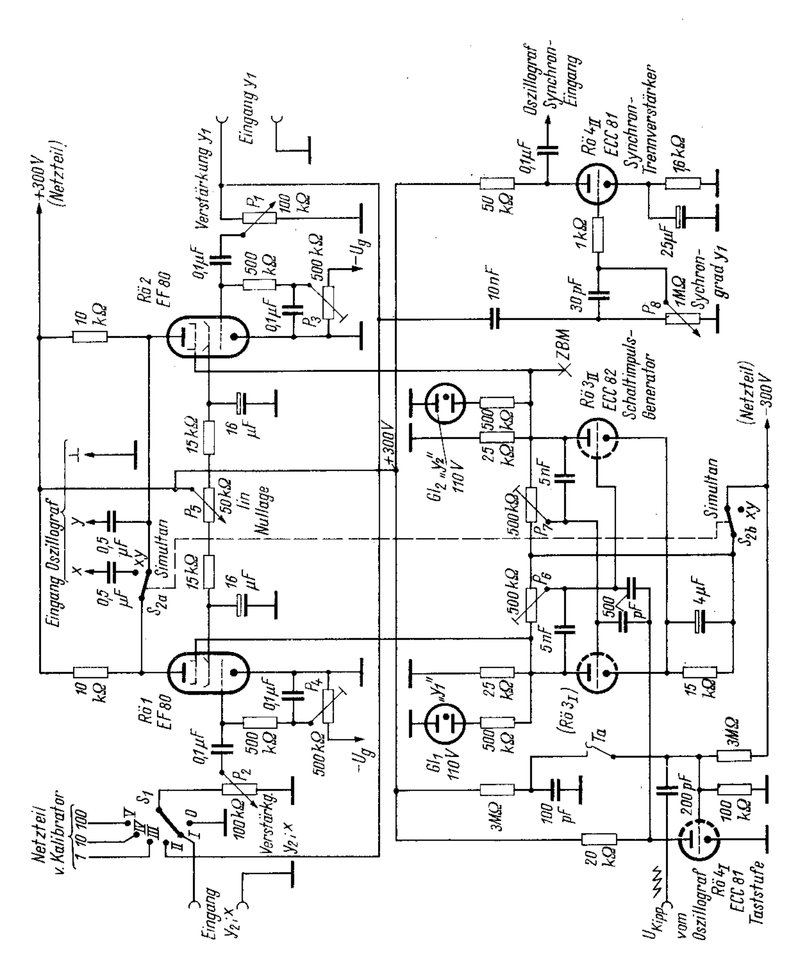


Bild 67 Schaltung des Simultanschalters („Elektronischer Verstärker-Umschalter") zur Erzeugung von Doppeloszillogrammen mit einfachen Oszillografen

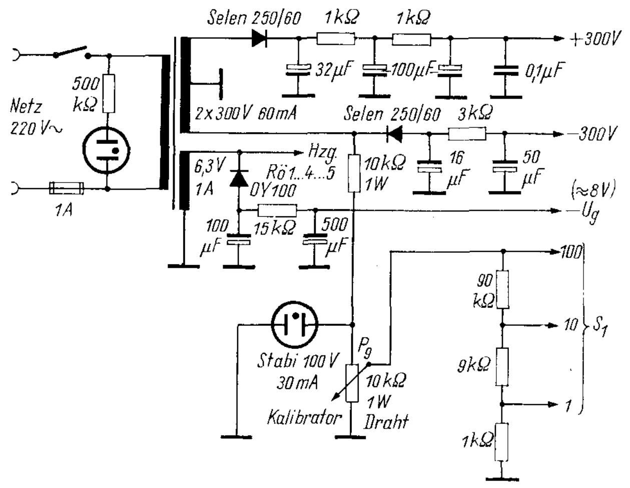


Bild 68 Netzteil mit Kalibrator zu Bild 67

siert, so daß die Umschaltung der Meßspannung zwangsläufig immer mit der Frequenz der Kippspannung und – was wichtiger ist – im Moment des Strahlrücklaufs, also nicht im sichtbaren Oszillogrammbild, erfolgt. Der Strahl schreibt daher immer bei einem Hinlauf die erste Meßspannung, beim nächsten die zweite Meßspannung, beim dritten Hinlauf wieder die erste und so fort. Bereits bei Kippfrequenzen ab etwa 25 Hz ist dann durch diesen Wechsel kein störendes Flimmern mehr bemerkbar, und beide Oszillogramme scheinen übereinander geschrieben zu sein. Es ergibt sich die Möglichkeit eines einfachen Aufbaus, und der Simultanschalter ist daher unkompliziert zu bedienen. Die Schaltung eines dementsprechenden Geräts bringt Bild 67. Das Gerät ist mit 4 Röhren bestückt. Den zugehörigen Netzteil zeigt Bild 68.
Rö 1 und Rö 2 sind die Schaltstufen. Die beiden darzustellenden Meßspannungen werden an die Eingänge Y 1 und Y 2 angeschlossen, ihre Amplitude wird mit P 1 und P 2 eingestellt. Normalerweise sind beide Anoden über Schal-

ter S 2a in Stellung „Simultan" parallelgeschaltet, der resultierende Anodenwiderstand beträgt dann 5 kΩ. Über einen 0,5-μF-Auskoppelkondensator wird die Meßspannung zum Y-Eingang des Oszillografen weitergeleitet. Röhre Rö 1 und Rö 2 werden wechselseitig gesperrt. Das geschieht, indem man dem Bremsgitter eine negative Spannung von etwa 150 V zuführt, die die jeweilige Röhre zuverlässig sperrt, so daß das Signal des betreffenden Eingangs nicht zum Oszillografen gelangt. Diese Sperrspannung wird vom Steuer-Multivibrator geliefert, der mit Rö 3 *(ECC 82)* aufgebaut ist. Abweichend von der üblichen Schaltungstechnik erdet man bei diesem Multivibrator die Anodenspannung plusseitig, seinen Katoden wird die Betriebsspannung also mit – 300 V zugeführt. Dadurch können die Anoden des Multivibrators ohne Koppelglieder direkt mit den Bremsgittern der Schaltröhren Rö 1 und Rö 2 vorteilhaft verbunden werden. Die Schaltröhren arbeiten daher auch noch bei tiefen Kippfrequenzen völlig linear. Den Multivibrator bauen wir als bistabile Flip-Flop-Schaltung auf. Darüber wurde in der allgemeinen Fachliteratur bereits so viel veröffentlicht, daß dieser Hinweis genügen mag. Die Schaltung kennt 2 stabile Zustände. Es ist immer eine der Röhren (Rö 3_{I} oder Rö 3_{II}) gesperrt, während die andere leitet. Durch einen kurzen, beiden Röhrengittern zugeführten Spannungsimpuls „kippt" die Schaltung in den anderen stabilen Zustand. Die zuvor gesperrte Röhre leitet nun, während die andere jetzt gesperrt ist. Dieser Zustand bleibt bestehen, bis der nächste Spannungsimpuls auf die Röhrengitter der Flip-Flop-Schaltung trifft. Die Spannungsimpulse werden aus der Kippschaltung des Oszillografen abgeleitet. Über die Eingangsbuchse „U_{Kipp}" wird ein vom Oszillografenausgang entnommener Sägezahn dem Gitter der Taströhre Rö 4_{I} zugeführt. Diese Röhre ist normalerweise gesperrt, da sie über den Spannungsteiler 3 MΩ/100 kΩ von der Multivibrator-Speisespannung (–300 V) eine Gittervorspannung von etwa –10 V bekommt. Die Hinlaufimpulse des Sägezahns bleiben wegen der kleinen Koppelkapazität von 200 pF ohne Wir-

kung, die wesentlich steileren Rücklaufimpulse tasten die Röhre kurzzeitig auf. Der an ihrer Anode dadurch entstehende kräftige Spannungssprung wird über 2 Koppelkondensatoren (je 500 pF) den Gittern des Multivibrators zugeführt und bewirkt dort die Umschaltung.
Mit den Einstellreglern P 6 und P 7 stellt man bei der ersten Inbetriebnahme einmalig den richtigen Arbeitspunkt für beide Multivibratorröhren so ein, daß sich zuverlässige Umschaltung bei stabilem Verhalten ergibt. Die beiden Anodenwiderstände dieser Röhren liegen gegen Masse. Daher wird das Potential der jeweils stromführenden Röhre an ihrer Anode etwa –150 V, das der gesperrten jedoch etwa null Volt betragen. Die gleiche Spannung herrscht demzufolge an den Bremsgittern der Schaltröhren. Die zum jeweils stomführenden System der Multivibratorröhre Rö 3 gehörende Schaltröhre ist daher gesperrt, die andere hat das für ordnungsgemäßen Betrieb nötige Bremsgitterpotential.
Das recht einfache Prinzip wurde durch einige nützliche Zusatzeinrichtungen vervollkommnet, die sich bei dieser Schaltung anbieten. Zunächst kann mit Schalter S 2a die Verbindung der Schaltröhrenanoden aufgehoben und gleichzeitig mit S 2b der Multivibrator abgeschaltet werden. Da dann an beiden Systemen der Rö 3 kein Strom anliegt, sind beide Bremsgitter auf Potential Null und die Schaltröhren Rö 1 und Rö 2 zugleich geöffnet.
Die Anode von Rö 1 wird nun über S 2a auf den Eingang X des Oszillografen umgeschaltet. Nunmehr sind Röhre Rö 1 als X-Verstärker und Röhre Rö 2 als identischer Y-Verstärker gleichzeitig benutzbar. Das ist besonders bei Oszillografen, die keinen eigenen X-Meßverstärker haben, sehr wertvoll. Da beide Meßverstärker jetzt identisch sind, können sehr bequem Frequenz- und Phasenvergleiche sowie ähnliche Messungen durchgeführt werden, die 2 gleiche Meßverstärker für die X- und Y-Auslenkung voraussetzen. – Um die Schaltstufen einfacher schalten zu können und die Gefahr von Nichtlinearitäten zu vermeiden, sind die Katoden von Rö 1 und Rö 2 direkt an Masse gelegt. Die

Gittervorspannung für diese Röhren wird im Netzteil erzeugt und über die Einstellregler P 3 und P 4 beiden Röhren getrennt zugeführt. Die Einstellregler haben den Vorteil, beide Schaltröhren auf genau günstigsten Arbeitspunkt (lineare Kennlinie) und gleiche Verstärkung einregeln zu können, was Voraussetzung für eine meßtechnisch einwandfreie Verwendbarkeit des Simultanschalters ist. In Mittelstellung des Reglers P 5 (Nullage) sind auch beide Schirmgitterspannungen gleich. Durch Verstellen dieses Reglers können die Anodenpotentiale der Schaltröhren gegenläufig geändert werden. Das führt zu einer gegenseitigen Vertikalverschiebung der Nullinien beider Oszillogramme, die sich in Mittelstellung von P 5 genau decken. Damit können beide Oszillogramme wahlweise ineinander (etwa bei Anwendung der Eichspannung) oder übereinander (bei Kurvenvergleichen) geschrieben werden.
Für beide Anwendungen enthält Teil II entsprechende Beispiele.
Das gewählte Schaltprinzip bietet auch die Möglichkeit, den Simultanschalter als handbetätigten kontaktlosen Umschalter für die Meßspannungen zu benutzen. Zu diesem Zweck wird die vom Oszillografen kommende Kippspannung vom Simultanschalter abgetrennt. Dieser kann jetzt von Hand mittels der Taste Ta umgeschaltet werden. Hierbei wird der über 3 MΩ auf + 300 V geladene Impulskondensator 100 pF über Ta und den 100-kΩ-Gitterwiderstand der Taststufe Rö 4_I entladen. Er erzeugt dort also einen einmaligen Impuls, der den Multivibrator und damit die Schaltröhren von dem gerade offenen auf den anderen Eingang umschaltet. Nach Loslassen von Ta wird der 100-pF-Kondensator wieder aufgeladen und kann dann bei erneutem Tastendruck von Ta die erneute Umschaltung auslösen.
Zur Kennzeichnung des offenen Eingangs wurden die Glimmlampen Gl 1 und Gl 2 vorgesehen. Bei offenem Eingang leuchtet stets die dazugehörige Glimmlampe auf. Zweckmäßigerweise werden diese Lampen direkt neben den jeweiligen Eingangsbuchsen befestigt. Sie lassen dann

auch beim Betrieb des Simultanschalters vom Kippgenerator bei niedrigen Kippfrequenzen gut die periodische Umschaltung erkennen. Bei höheren Kippfrequenzen leuchten sie beide scheinbar konstant.

Die Synchronisation kann bei Benutzung des Simultanschalters nicht mehr in der gewohnten Form der Eigensynchronisation im Oszillografen erfolgen, da dort abwechselnd beide Meßfrequenzen anliegen, die selten genau übereinstimmen. Das Oszillogramm würde daher ständig „springen". Die Synchronisation muß man deshalb einer der Meßspannungen fest zuordnen; im vorliegenden Falle dem Eingang Y 1 des Simultanschalters. Die dort angelegte Meßspannung synchronisiert dann über den Regler „Synchrongrad Y 1" und den Synchronverstärker Rö 4_{II} den Oszillografen (der dazu auf Fremdsynchronisation umzuschalten ist und über seinen Synchronanschluß mit dem Simultanschalter verbunden wird). Diese Meßspannung steht also still, während die bei Y 2 angelegte (falls sie in der Frequenz von Y 1 oder einem ganzzahligen Verhältnis zu ihr abweicht) durch das Bild „wandert".

Auch beim Oszillografieren nur einer Spannung bringt der Simultanschalter Vorteile: Wird der Eingang Y 2 zugedreht, so bewirkt dies das Einschreiben einer Nullinie in das Oszillogramm der Spannung Y 1. Sie ist meist zur Auswertung sehr willkommen. Weiterhin liegt es nahe, den Eingang Y 2 in diesem Falle zum Ausmessen der Amplitude der Meßspannung Y 1 zu benutzen. Der Simultanschalter erhielt zu diesem Zweck eine Eichspannungsquelle nach Bild 41. Sie ist im Netzteil (Bild 68) eingezeichnet. Über einen 10-kΩ-Vorwiderstand wird wieder ein 100-V-Stabilisator von einer Wicklung des Netztrafos mit Wechselspannung von etwa 300 V~ gespeist. P 9 ist der gleiche in der schon früher beschriebenen Weise mit Gleichspannung in „Vss" geeichte Regler, an dem man die Höhe der Meßspannung ablesen kann. Seine Spannung wird zum Ausmessen kleinerer Amplituden 1 : 10 und 1 : 100 untersetzt; die 3 Eichspannungen werden dem

Eingangsumschalter S 1 des Eingangs Y 2 (Bild 67) zugeführt. Im übrigen weist der Netzteil eine Besonderheit auf. Es wird ein normaler Standard-Netztrafo verwendet, dessen beide Anodenwicklungen jedoch getrennte Spannungen in Einweggleichrichtung liefern, wobei die Anodenspannung für die Schaltröhren, Taststufe und Synchronverstärker positiv, die für den Multivibrator negativ ist. Die Gittervorspannung für die Schaltröhren leitet man in einfacher Weise aus der Heizspannung ab. Diese muß aber zur Vermeidung einer „verbrummten Nullinie" sehr sorgfältig gesiebt sein.

Eingangsumschalter S 1 (Bild 67) ermöglicht jetzt in einfacher Form sowohl die Umschaltung auf Masse zum Einschreiben einer Nullinie, ohne daß dazu P 2 verändert werden muß (Stellung 0), die Abbildung einer zweiten Meßspannung Y 2 (Stellung I) sowie die Einblendung einer Meßspannung vom Eichspannungsgeber (der in der einschlägigen Literatur auch als „Kalibrator" bezeichnet wird) in den Größenordnungen 1, 10 und 100 V (Stellungen III, IV, V). In Stellung II kann der Eingang Y 2 dem Eingang Y 1 parallelgeschaltet werden.

Das ist aus folgendem Grunde erforderlich: Im allgemeinen wird P 1 nicht voll aufgedreht sein. Damit man die dabei auf dem Bildschirm abgebildete Amplitude trotzdem exakt ausmessen kann, muß die Eichspannung vom Kalibrator um den gleichen Betrag untersetzt werden wie die Meßspannung bei P 1, auch müssen beide Schaltstufen genau gleiche Verstärkung haben. Beides erzielt man sehr einfach, indem S 1 in Stellung II gebracht und dann P 2 so weit aufgedreht wird, bis sich beide Oszillogrammbilder – die ja nunmehr von der gleichen Meßspannung stammen – genau decken (notfalls Nullageregler P 5 zu Hilfe nehmen!). Dann sind beide Verstärkungen genau gleich. P 2 bleibt jetzt stehen, und durch Umschalten von S 1 kann die Eichspannung eingeschrieben werden; an P 9 läßt sich der Betrag der Meßspannung unmittelbar ablesen. Auch für das Einschreiben einer Nullinie in Stellung 0 von S 1 muß man – wenn die Nullinie wirklich

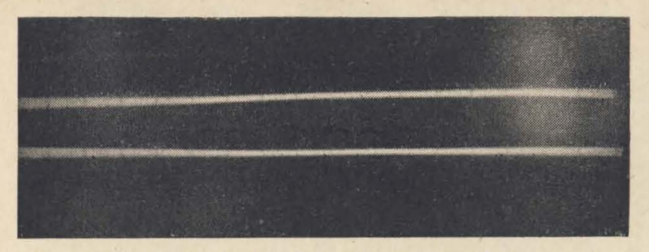


Bild 69 Die Nullinien der beiden mit dem Simultanschalter schreibbaren Oszillogramme (hier mit dem Nullageregler gegeneinander verschoben). In dessen Mittelstellung fallen sie zu einer Nullinie zusammen

genau den Nulldurchgang der Meßspannung anzeigen soll – einen vorherigen Deckungsvergleich beider Kurvenbilder durchführen, um zu gewährleisten, daß nicht etwa P 5 versehentlich verstellt ist. Dieser Deckungsvergleich erfolgt ebenfalls in Stellung II von S 1.
Einige Oszillogrammfotos sollen das Arbeiten des Simultanschalters verdeutlichen. Bild 69 zeigt die beiden mittels Simultanschalter übereinander geschriebenen Nulllinien (P 1 und P 2 geschlossen, P 5 aus der Mittelstellung herausgedreht). Beide Nullinien weisen in sich und gegeneinander eine gute Linearität auf. In Mittelstellung von P 5 decken sie sich vollständig und erscheinen als Null-

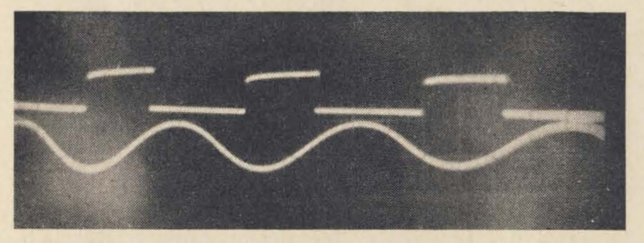


Bild 70 Mittels Simultanschalter geschriebenes Doppeloszillogramm (1-kHz-Rechteck über Y 1, 1-kHz-Sinus über Y 2, Nullagen gegeneinander verschoben)

linie. Bild 70 entstand, indem in der Nullage-Einstellung nach Bild 69 jetzt Eingang Y 1 mit einem 1-kHz-Rechteck vom Rechteckgenerator (Bild 44), Eingang Y 2 mit einer 1-kHz-Sinusschwingung von einem Tongenerator beschickt wurde. Um für die Aufnahme ein auch für Y 2 stehendes Bild zu erhalten (der Oszillograf synchronisiert ja über Regler P 8 nur vom Eingang Y 1), wurde der Rechteckgenerator zusätzlich vom Tongenerator synchronisiert. Ein einwandfreier Vergleich beider Kurven ist leicht möglich. Das in diesem Falle etwas verformte positive Rechteck-Impulsdach wurde übrigens, wie sich nachträglich herausstellte, durch eine schadhafte Begrenzerröhre im Rechteckgenerator verursacht.
Bild 71 resultiert aus Bild 70, indem jetzt der Nullageregler P 5 in Mittelstellung gebracht wurde. Beide Kurven werden nun ineinandergeschrieben, sie sind zueinander um 180° phasenverschoben. Ihre Amplituden wurden mit P 1 und P 2 auf gleiche Höhe gebracht. Bild 72a zeigt einen Anwendungsfall aus der Praxis. Dem Eingang Y 1 wurde die zu untersuchende Schwingung eines Transistor-Tongenerators zugeführt (beschrieben im Heft 35 dieser Reihe, *Transistorschaltungen Teil* II, Demonstrations-Transistorsummer). P 5 steht in Mittelstellung, S 1 in Stellung 0. Dabei wird mit Hilfe des Simultanschalters eine Nullinie eingeschrieben, die im vorliegenden Fall erkennen läßt,

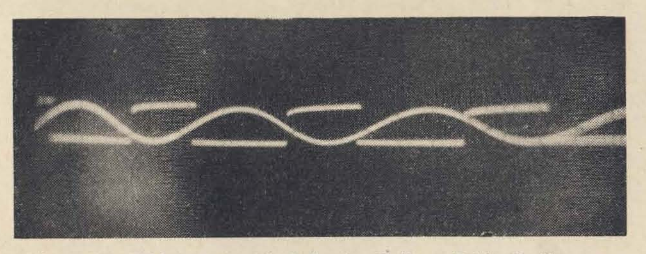


Bild 71 Wie Bild 70, mit sich deckender Nullage. Beide Oszillogramme werden dann ineinandergeschrieben; sie wurden hier mit dem Y-Eingangsregler willkürlich auf gleiche Amplitude gebracht

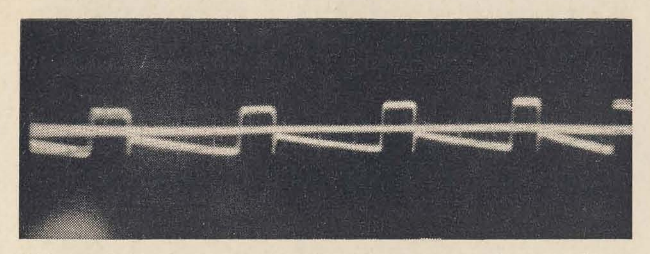


Bild 72a Kurvenform einer von einem Transistorsperrschwinger abgegebenen Tonschwingung. Mittels Simultanschalter wurde die zusätzliche Nullinie eingeschrieben

daß der Anstieg der negativen Impulshalbwelle knapp unterhalb des Spannungswertes Null beginnt. Diese Erscheinung ist ohne eingeschriebene Nullinie nicht festzustellen. Zum Bestimmen der Frequenz wurde anschließend über Eingang Y 2 des Simultanschalters eine Sinusspannung vom Tongenerator eingeschrieben und durch Verstellen von P 5 unterhalb der zu untersuchenden Schwingung abgebildet. Der Tongenerator mußte so lange verstellt werden, bis sein Kurvenbild ebenfalls stillstand. Dann konnte man an seiner Skala die Frequenz von 2100 Hz ablesen. Wie Bild 72b zeigt, entfallen dabei 2 Sinuskurven auf eine Schwingung des Transistorgenerators, die sich daher zu 1050 Hz (= $^1/_2$ der Tongenerator-

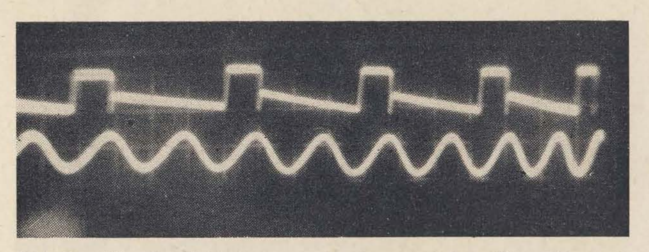
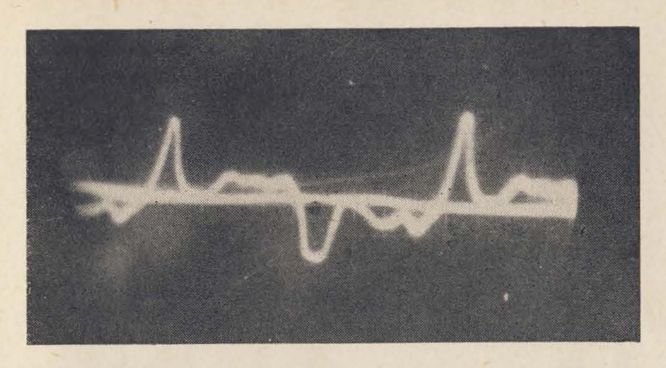
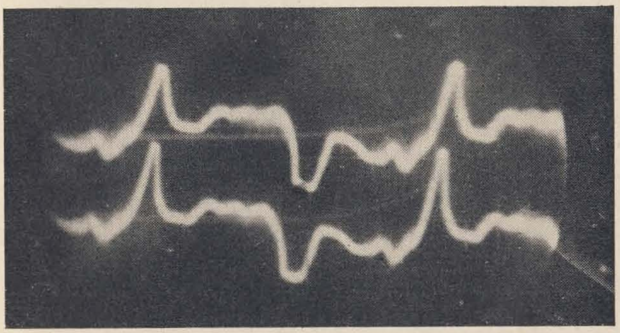
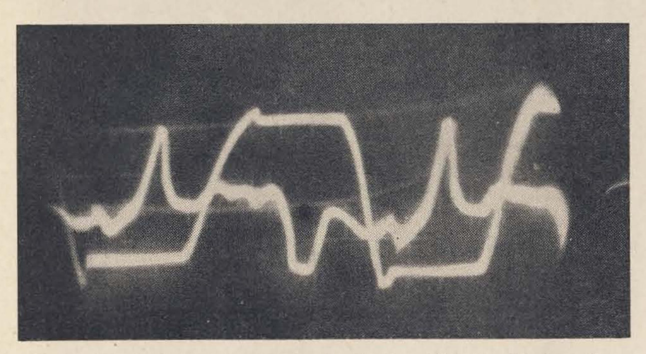


Bild 72b Wie 72a, Nullagen gegeneinander verschoben. Über Y 2 wurde jetzt eine Sinusschwingung 2100 Hz eingeschrieben, aus der sich durch Vergleich der Periodenzahl die unbekannte Schwingung zu 700 Hz ergibt







Bilder 73 bis 75 Ausmessen der Amplitude einer nichtsinusförmigen Spannung mit der Kalibratorspannung des Simultanschalters

frequenz) ergibt. Dies als Beispiel der genauen Frequenzmessung einer nichtsinusförmigen Impulsspannung.
Die folgenden Bilder zeigen den Vorgang der Amplitudenmessung einer unbekannten Spannung mit unregelmäßigem Kurvenverlauf. Die Amplitude einer solchen Kurvenform kann ausschließlich oszillografisch gemessen werden. Es handelt sich dabei um die von einer Netzleitung ausgestreuten Oberwellen des Lichtnetzes, aufgenommen von der ungenügend abgeschirmten Eingangsleitung eines NF-Verstärkers. Die Frequenz dieser Störspannung beträgt daher 50 Hz, was für die Aufnahme dieser Bilder den Vorteil hatte, daß sich mit der Eichspannung ein stehendes Bild ergab.
Zunächst ist in Stellung 0 von S 1 die Nullinie eingeschrieben und mit P 5 in Mittelstellung gebracht worden (Bild 73). Anschließend wurde S 1 auf Stellung II umgeschaltet und das zweite Kurvenbild der Störspannung mittels P 2 auf Deckung mit dem ersten eingeregelt. Für die Aufnahme des Bildes 74 mußte man danach nochmals P 5 aus der Mittellage herausdrehen, um die Gleichheit beider Kurvenzüge im Bild zeigen zu können. Danach wurden beide Kurven wieder mit P 5 auf Deckung gebracht. Jetzt konnte S 1 auf Stellung III, IV oder V umgeschaltet und mit P 9 vom Kalibrator die Vergleichsspannung eingeschrieben werden. Sie hatte wieder die im Bild 42 bereits gezeigte Form. Mit P 9 wurde sie auf gleiche Höhe des Impulsdaches mit den Störspannungsspitzen gebracht, deren Wert daraufhin an der Kalibratorskala bei P 9 abgelesen werden konnte (Bild 75). Weitere derartige Beispiele werden im Teil II erläutert.

2.8. Zeitbasismesser als Ergänzung zum Simultanschalter

Für überschlägige Frequenzvergleiche ist es häufig nützlich, die Zeitablenkfrequenz des Oszillografen zu kennen. Die wenigsten Oszillografen haben aber geeichte Einstellregler für die Zeitablenkung. Abgesehen davon nützt eine

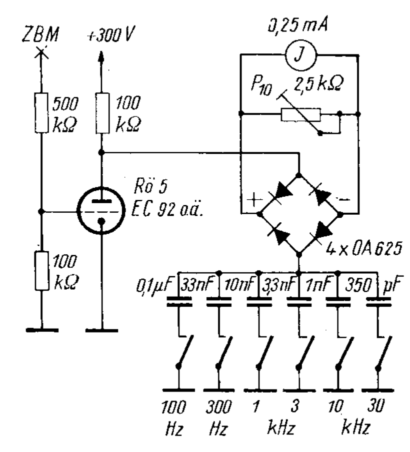


Bild 76 Schaltung des Zeitbasismessers-Zusatzes zum Simultanschalter. Er wird dort bei ZBM angeschlossen (Bild 67) und aus dem Netzteil des Simultanschalters mitgespeist

solche Einstellung wenig, wenn der Oszillograf synchronisiert wird, da dann die Meßspannung die Zeitablenkfrequenz bekanntlich „mitnimmt".

Der im vorigen Abschnitt beschriebene Simultanschalter ermöglicht auf Grund seiner Schaltung jedoch eine sehr einfache Ergänzung. Dadurch kann man die am Oszillografen-Kippteil eingestellte Zeitablenkfrequenz an einem Meßinstrument direkt ablesen. Hiernach kann durch Auszählen der von der Meßspannung abgebildeten Periodenzahl deren Frequenz mit häufig schon ausreichender Genauigkeit bestimmt werden.

Bild 76 zeigt diese Ergänzung. Erforderlich ist eine weitere Triode, für die die *EC 92*, ein System einer *ECC 81* oder jede einigermaßen datenähnliche Triode oder als Triode geschaltete Pentode brauchbar ist. Der Zeitbasismesser kann vom Netzteil des Simultanschalters mitversorgt und in diesem eingangsmäßig bei dem Punkt ZBM (Bild 67) angeschlossen werden. Die Röhre des Zeitbasismessers wird also gemeinsam mit einer der Schaltröhren

angesteuert und wie diese im Rhythmus der Umschaltung auf- und zugesteuert. An ihrer Anode steht daher eine Rechteckspannung, deren Frequenz der Zeitablenkfrequenz entspricht. Über einen 6stufigen Schalter oder einen 6teiligen Tastenschalter schaltet man je nach dem eingestellten Frequenzbereich einen der Kondensatoren (Bild 76) zu. Der durchfließende Ladestrom ist der Frequenz direkt proportional. Mit Hilfe eines aus 4 Germaniumdioden bestehenden *Brückengleichrichters* wird dieser gleichgerichtet und zur Anzeige gebracht. Mit einem 0,25-mA-Instrument und der genannten Dimensionierung ergeben sich dann für Vollausschlag am Instrument die bei den Schaltkontakten angeschriebenen Frequenzen. Für die Bereiche 10 und 30 kHz ist jedoch beim Aufbau auf sehr kapazitätsarme Verdrahtung des gesamten Leitungskomplexes einschließlich der Gleichrichterbrücke und Instrumentzuleitung zu achten, wenn die Anzeige für diese Bereiche mit der Skala für die unteren Bereiche übereinstimmen soll. Das Instrument versieht man mit zwei Skalen (1 bis 10 und 1 bis 30) und eicht es direkt in „Hz Kippfrequenz". Mit P 10 wird in einem der mittleren Bereiche einmalig die Eichung auf Endausschlag vorgenommen. Werden die Kondensatorenwerte genau eingehalten (mit C-Meßbrücke kontrollieren!), dann stimmt diese Eichung für alle Bereiche.
Diese Schaltung stellt im Prinzip einen direkt anzeigenden Frequenzmesser dar. Sie läßt sich so einfach gestalten, weil der für ihre Ansteuerung benötigte kräftige und amplitudenkonstante Rechteckimpuls (der für die Messung aus der Sägezahn-Kippspannung abgeleitet werden muß) im Simultanschalter bereits in geeigneter Form zur Verfügung steht. Die Ersteichung erfolgt, indem man die Kippfrequenz am Oszillografen mit einer bekannten Frequenz (eventuell der Netzfrequenz) vergleicht. Am Zeitbasismesser ist dann auch gut sichtbar, wie die Zeitablenkfrequenz im eigensynchronisierten Oszillografen bei Veränderung der Meßspannungsfrequenz von dieser mitgezogen wird und bei weiterer Veränderung plötzlich „außer Tritt fällt".

2.9. Wobbelzusätze zum Abgleich von Filtern

Auf die Technik der Frequenzwobbelung wird hier nicht näher eingegangen. Erstens ist diese Problematik zu umfangreich, um in diesem Rahmen auch nur annähernd ausführlich behandelt zu werden. Zweitens hat gerade diese Technik für den Ungeübten ihre Tücken. Aus Gründen, die in der Literatur leider viel zuwenig erwähnt werden und die verfahrensbedingt sind, können bei unsachgemäßem Wobbeln grobe und nicht immer leicht erkennbare Meßfehler unterlaufen. Damit schlagen aber die Vorzüge dieses Verfahrens in das Gegenteil um. Auch der Geräteaufwand für einen wirklich brauchbaren Wobbler ist beträchtlich. Er soll daher hier nur der Vollständigkeit halber erwähnt werden. Grundsätzlich besteht ein Wobbelgenerator aus einem HF-Oszillator, der eine für den Filterabgleich erforderliche Frequenz abgibt. Der Oszillator kann um einen gewissen Betrag frequenzmoduliert werden, üblich sind maximale „Hübe" von $\pm$ 150 bis 250 kHz. Diese Modulation erfolgt entweder von der Kippspannung des Oszillografen oder von einer fremden Spannung, dann meist der Netz-Sinusspannung, die synchron mit dem Wobbelhub auch die X-Ablenkung im Oszillografen übernimmt. In jedem Falle wird also die Oszillatorfrequenz synchron mit der X-Ablenkung des Strahles im Oszillografen periodisch verändert. Die so frequenzmodulierte HF-Spannung führt man dem zu prüfenden Gerät zu. Da sie die Resonanzfrequenz der abzugleichenden Filter periodisch überstreicht, steht am Demodulator des Empfängers eine Spannung, die der Augenblicksamplitude der von den Filtern durchgelassenen HF-Spannung proportional ist. Sie wird der Y-Ablenkung des Oszillografen zugeführt. Auf dessen Bildschirm ergibt sich dann aus der jeweiligen Augenblicksfrequenz des Oszillators und der zugehörigen, vom Demodulator gelieferten Amplitude das Originalbild der Filterdurchlaßkurve. Soweit das Prinzip.

Einzelheiten der Zusammenschaltung von Geräten und das Arbeiten mit ihnen werden im Teil II nochmals kurz dar-

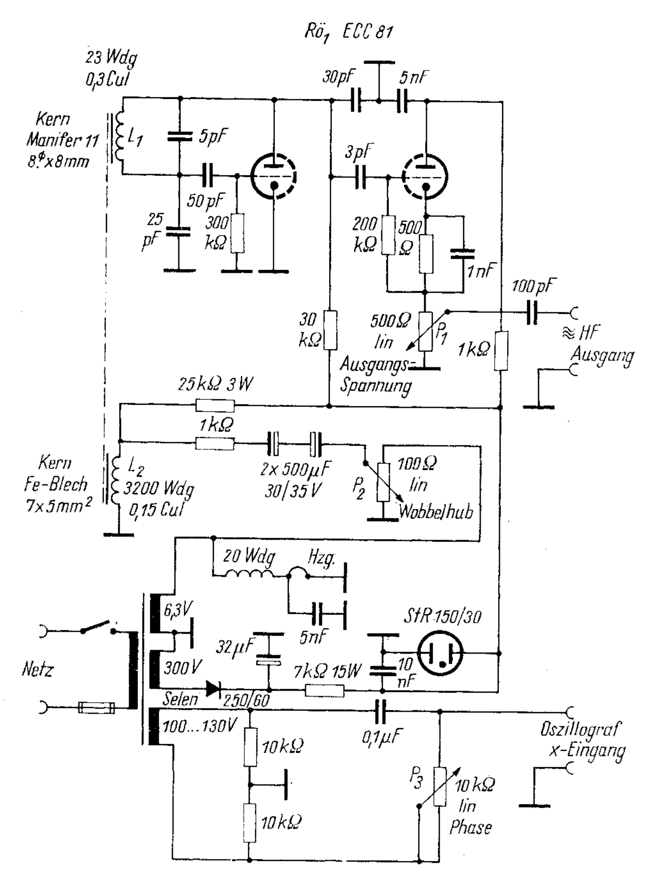
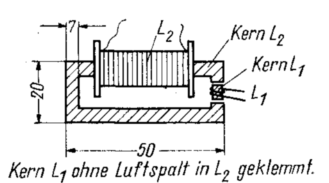


Bild 77 Schaltung eines 10,7-MHz-Wobbelgenerators nach Herrfurth

gestellt. Hier sind ergänzend nur 2 Schaltungen gezeigt, die der Fortgeschrittene (nur für ihn kommen Wobbelverfahren in Frage) auch ohne nähere Kommentare versteht.

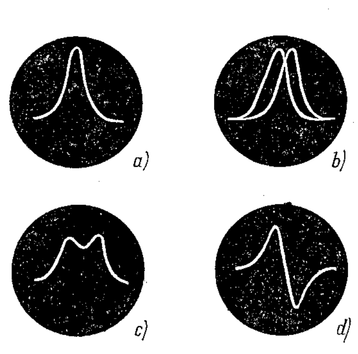
Bild 77 zeigt die Schaltung eines Wobblers für 10,7 MHz. Der in kapazitiver Dreipunktschaltung schwingende Oszil-

Bild 78
Aufbau der Wobbeleinheit L 1/L 2 nach Bild 77



lator wird durch Änderung der Spuleninduktivität frequenzmoduliert. Das erfolgt, indem die Vormagnetisierung des Kernes der frequenzbestimmenden Spule L 1 durch eine im Takt der Wobbelfrequenz magnetisierte Erregerspule variiert wird, womit sich die Induktivität von L 1 ändert (nach [4]).
Als Wobbelfrequenz benutzt man hier die Netzfrequenz. Auch die X-Ablenkung im Oszillografen erfolgt daher über dessen X-Eingang mit Netzfrequenz. Da diese mit der Wobbelfrequenz in Phase sein muß, um Doppeloszillogramme zu vermeiden, wird sie vom Wobbler über den Phasenregler P 3 abgenommen und dem Oszillografen zugeführt. Mit P 3 können dann Doppelbilder auf Deckung gebracht werden. Mit P 2 ist der Wobbelhub von 0 bis 250 kHz einstellbar, mit P 1 die HF-Ausgangsspannung, die hier über eine als Trennstufe und Impedanzwandler wirkende Anodenbasisstufe abgenommen wird.
Den Aufbau der Modulatoreinheit zeigt Bild 78 (nach [4]). Zwischen die Schenkel des Eisenkernes der Spule L 2 wird

Bild 79
Einige typische, mit dem Gerät nach Bild 77 erzielbare Oszillogrammformen; a) normale Filterdurchlaßkurve, b) wie a bei falscher Einstellung des Phasenreglers, c) überkritisch gekoppeltes Bandfilter, d) Diskriminatorkurve



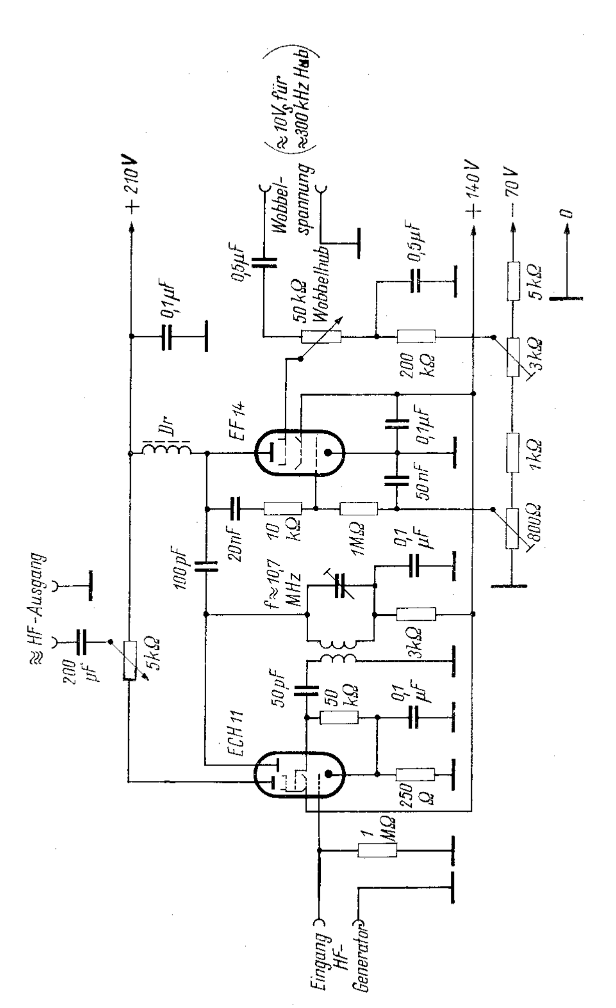


Bild 80 Schaltbild eines Wobbelgenerators für verschiedene Frequenzen nach Köhler. Es kann mit Netz- oder Kippfrequenzen gewobbelt werden. Der Generator (ECH 11-Triode) arbeitet auf 10,7 MHz, andere Frequenzen erhält man durch Anschluß eines HF-Generators an der Hexode und Mischung. Die EF 14 arbeitet als Reaktanzröhre

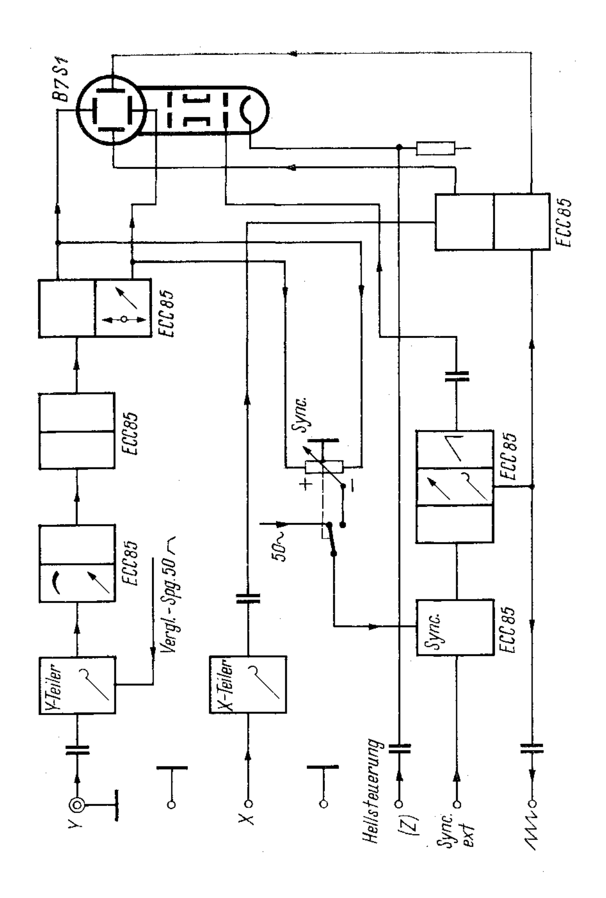


Bild 81 Blockschaltbild des Service-Oszillografen EO 1/71 a vom VEB (K) Technisch-Physikalische Werkstätten (TPW) Thalheim. Die grundsätzliche Funktionsgleichheit mit dem im Heft beschriebenen Prinzipaufbau ist hier gut erkennbar

unmittelbar der Ferritkern der Spule L 1 eingeklemmt. Alles Weitere geht aus den Zeichnungen hervor.
Bild 79 gibt – hier ausnahmsweise in Form einer Zeichnung – einige Schirmbilder wieder, wie man sie mit diesem Wobbler erhält. Die typische Durchlaßkurve eines Einzelfilters zeigt a. Ein überkritisch gekoppeltes Bandfilter ergibt die bekannte Höckerkurve nach c. Der Nulldurchgang eines FM-Diskriminators stellt sich auf dem Bildschirm des Wobbeloszillografen wie in Skizze d dar. Skizze b zeigt eine Bandfilterkurve ähnlich a, aber bei falsch eingestelltem Phasenregler P 3.
Während dieser Wobbler lediglich für die UKW-ZF von 10,7 MHz verwendbar ist, kann man einen anderen, von Köhler [5] beschriebenen Wobbelgenerator, dessen Originalschaltung Bild 80 zeigt, auch für andere Frequenzen benutzen. Er arbeitet mit einer Reaktanzröhre EF 14 als frequenzbeeinflussendes Organ, die über den Wobbelhub-Regler von der Kippspannung des Oszillografen angesteuert werden kann. Für 300 kHz Hub sind etwa 10 V_{ss} erforderlich. Als Oszillator arbeitet das Triodensystem der *ECH 11.* Die Hexode dient auf der Grundfrequenz von 10,7 MHz lediglich als Trennröhre. Werden andere Frequenzen gewünscht, dann kann man am Hexodeneingang einen normalen HF-Generator anschließen. Die Frequenz des HF-Generators wird in der Hexode mit der Oszillatorfrequenz gemischt und ergibt somit die gewünschte Ausgangsfrequenz. Nähere Einzelheiten sind den Originalveröffentlichungen zu entnehmen.

Literaturhinweise

[1] Czech, *Oszillografen-Meßtechnik,* Verlag für Radio-Foto-Kinotechnik, Berlin-Borsigwalde 1959 (Standard-Nachschlagewerk für alle Probleme der Oszillografentechnik)

[2] Jakubaschk, *Meßplatz des Amateurs,* Heft 18 der Reihe *Der praktische Funkamateur* (Bauanleitung für einen Oszillografen, Tongenerator mit Rechteckgenerator)

[3] *Oszi 40,* Bauanleitung, *radio und fernsehen,* Hefte 13 und 14/1958

[4] Herrfurth, *Wobbelgenerator für 10,7 MHz, radio und fernsehen,* Heft 21/1960

[5] Köhler, *Breitband-Wobbeltechnik, radio und fernsehen,* Heft 15/1958

[6] Elektronus, *Möglichkeiten und Grenzen der Wobbeltechnik, radio und fernsehen,* Heft 7/1959

[7] Rint, *Handbuch für Hochfrequenz- und Elektro-Techniker,* Verlag für Radio-Foto-Kinotechnik, Berlin-Borsigwalde

2. Auflage
11.–25. Tausend
Deutscher Militärverlag · Berlin 1968
Lizenz-Nr. 5
Lektor: Bernd Schneiderheinze
Zeichnungen: Brigitta Westphal
Typografie: Günter Hennersdorf
Korrektor: Rita Abraham
Hersteller: Werner Briege
Gesamtherstellung: Druckerei Märkische Volksstimme, Potsdam A 1152
1,90

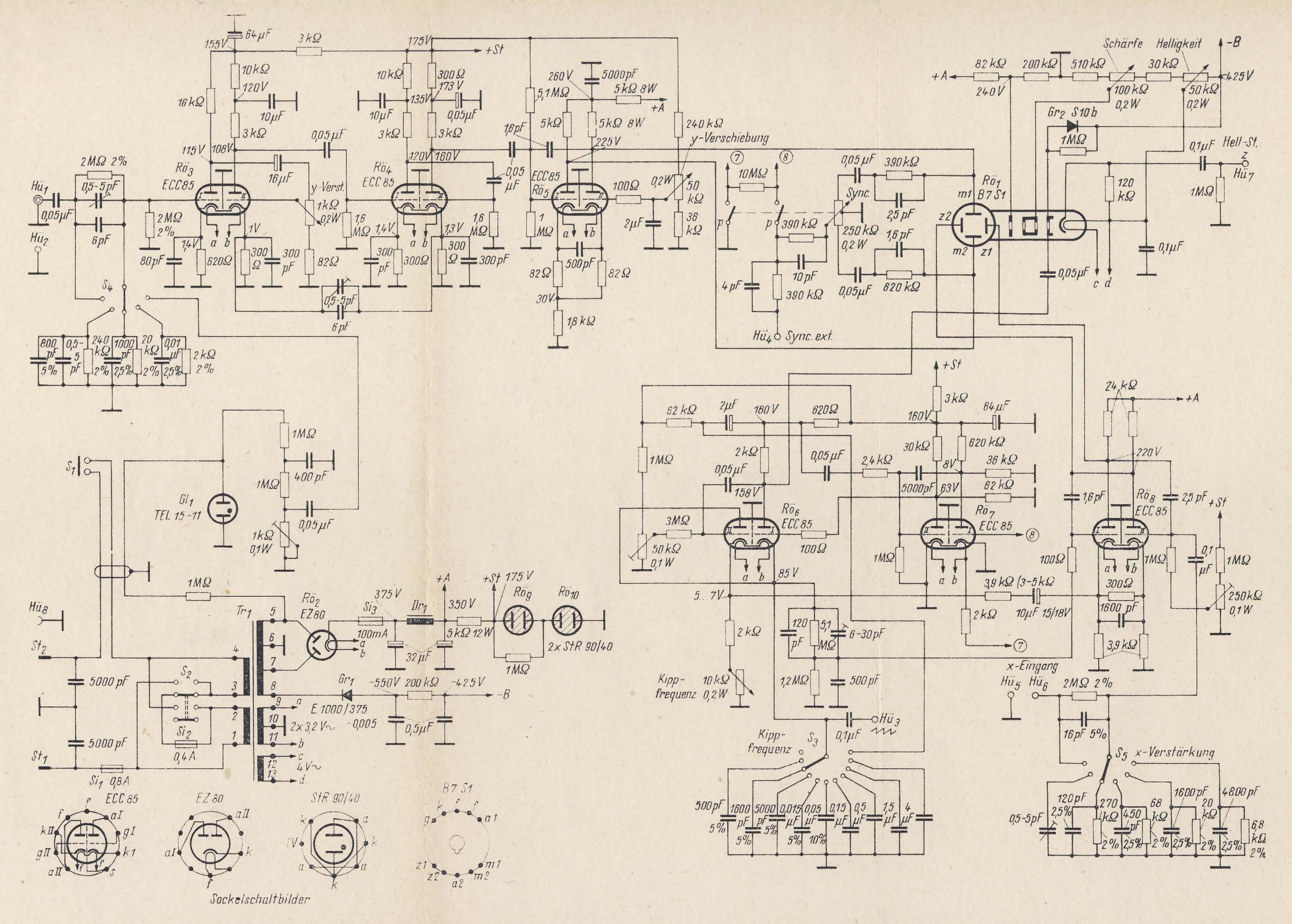


Bild 82 Vollständiges Werkschaltbild des Service-Oszillografen EO 1/71 a. Dieses Industrieschaltbild ist nicht als Vorlage zum Nachbau gedacht. Selbstbau eines Oszillografen nach dieser Schaltung ist nur dem fortgeschrittenen Amateur zu empfehlen, da zum Abgleich und zur Inbetriebnahme ausreichende Meßmittel sowie theoretische und praktische Kenntnisse erforderlich sind. Dieses Gerät gehört zur Klasse moderner Klein-Oszillografen und zeigt deren typische Schaltungstechnik



DEUTSCHER MILITÄRVERLAG